

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYNAK DİKİŞ FORMUNUN YAPAY SİNİR AĞI VE
VOKSELLEME YÖNTEMLERİYLE MODELLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Soydan SERTTAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : **BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Cemil ÖZ**

Temmuz 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

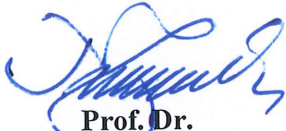
**KAYNAK DİKİŞ FORMUNUN YAPAY SINIR AĞI VE
VOKSELLEME YÖNTEMLERİYLE MODELLENMESİ**


DOKTORA TEZİ


Soydan SERTTAŞ


Enstitü Anabilim Dalı : **BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ**


Bu tez 26 / 07 /2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Nejat YUMUŞAK
Jüri Başkanı


Prof. Dr.
Fehim FINDIK
Üye


Prof. Dr.
Cemil ÖZ
Üye


Doç. Dr.
Doğan AYDIN
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Gülüzar ÇİT
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.

Soydan SERTTAŞ

26.07.2019

TEŞEKKÜR

Doktora 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. Cemil ÖZ'e, Sakarya Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Nejat YUMUŞAK'a ve bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Fehim FINDIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora süresince birlikte çalıştığım ve tez çalışmamın şekillenmesinde doğrudan katkısı bulunan Kayhan AYAR'a ve bilgisi ile manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Gülüzar ÇİT'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın bu uzun soluklu ve yorucu yolculuğunda bana destek, anlayış ve sabır gösteren sevgili eşim Sevil SERTTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmamın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2015-50-02-033) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLOLAR LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Birleştirme Yöntemi	1
1.2. Sanal Gerçeklik	3
1.3. Tezin Amacı	6
1.4. Tezin Organizasyonu	8

BÖLÜM 2.

LİTERATÜR TARAMASI	9
2.1. Sanal Kaynak Simülatörleri	9
2.2. Kaynak Dikişi	13
2.2.1. Matematiksel modeller	16
2.2.2. Yapay sinir ağı ile öngörüler	19

BÖLÜM 3.

GELİŞTİRİLEN SANAL KAYNAK SİMÜLATÖRÜ	26
3.1. Donanım	27

3.1.1. Flock of birds konum algılayıcısı	27
3.1.1.1. Cihazın çalıştırılması	29
3.1.1.2. Veri alışverişi	32
3.1.2. Başa takılan ekran	33
3.1.3. Bilgisayar	34
3.2. Yazılım	34
3.2.1. Motor çekirdeği	35
3.2.2. Giriş/çıkış control ünitesi	35
3.2.3. Ses kontrol ünitesi	36
3.2.4. Grafik motoru	36
3.2.4.1. 3B model yönetim birimi	36
3.2.4.2. Katı model üretim modülü	37
3.2.4.3. Sahne yönetim birimi	37
3.2.4.3.1. Çizim birimi	38
3.2.4.3.2. Mesaj birimi	39
3.2.4.4. Kaplama yönetim birimi	39
3.2.4.5. Işık yönetim birimi	39
3.2.4.5.1. Ambiyans ışık	40
3.2.4.5.2. Dağınık ışık	40
3.2.4.5.3. Yansıma(aynasal) ışık	42
3.2.4.5.4. Salıcı ışıklar	42
3.2.4.5.5. OpenGL ışık sistemi	43
3.2.4.6. Kamera yönetim birimi	43
3.2.4.6.1. Kamera uzayı	43
3.2.4.6.2. Kamera döndürme	45
3.2.4.6.3. Projeksiyon	45
3.2.5. OpenGL grafik kütüphanesi	48
3.2.6. Kaynak dikişi sorgu birimi	48
3.3. Yazılımın Çalışması	48
3.4. Analiz Edilen Simülatörlerin Karşılaştırılması	50

BÖLÜM 4.

ÖNERİLEN KAYNAK DİKİŞ FORMU ELDESİ	51
4.1. Kaynak Dikiş Temel Şeklinin Belirlenmesi	51
4.1.1. Parabol	54
4.1.2. Yapay sinir ağları	56
4.2. Vokselleme	62
4.2.1. Vokselleme literatürü	63
4.2.2. Voksel	65
4.3. Sekizli Ağaç Veri Yapısı	69
4.4. Yürüyen Küpler Algoritması	71

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ	76
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	97

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

2B	: İki-boyutlu
3B	: Üç-boyutlu
AABB	: Axis-Aligned Bounding Box
B-rep	: Boundary representation
BSP	: Binary Search Partitioning / İkili uzay bölümlenme
cm	: Santimetre
CSG	: Constructive Solid Geometry / Yapısal Katı Geometri
CT	: Computer Tomography / Bilgisayarlı Tomografi
dof	: Degree of Freedom / Serbestlik Derecesi
GMA	: Gas Metal Arc
GMAW	: Gas Metal Arc Welding
GPU	: Graphics Processing Unit
GTA	: Gas Tungsten Arc
HCI	: Human-Computer Interaction / İnsan-Bilgisayar Etkileşimi
HIP	: Haptic Interaction Point / Haptic Etkileşim Noktası
HMD	: Head Mounted Device / Başa Takılan Ekran
kHz	: Kilo Hertz
KOSGEB	: Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
MAG	: Metal Active Gaz / Metal Aktif Gaz
MC	: Marching Cubes
MIG	: Metal Inert Gaz / Metal Pasif Gaz
MRI	: Magnetic Resonance Imaging / Manyetik Rezonans Görüntüleme
ms	: Milisaniye
MSE	: Mean-Squared Error / Ortalama Hata Karesi
OBB	: Oriented Bounding Box

OpenGL	: Open Graphics Library / Açık Grafik Kütüphanesi
RAM	: Random Access Memory / Rastgele Erişimli Bellek
sn	: Saniye
TIG	: Tungsten Inert Gaz
TrainLM	: Train Levenberg-Marquardt
VRML	: Virtual Reality Modelling Language / Sanal Gerçeklik Modelleme Dili
YSA	: Yapay Sinir Ağı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Önerilen kaynak dikiş formu oluşturma sistemi	7
Şekil 2.1. Kaynak dikiş kesitleri	14
Şekil 2.2. Kaynak dikişi kesit modellemesi	15
Şekil 2.3. Mesh modeli	18
Şekil 3.1. Sanal kaynak simülatörü yapısı	27
Şekil 3.2. Flock of birds konum sensörü	28
Şekil 3.3. Flock of birds koordinat merkezi ve algılayıcı kafa	28
Şekil 3.4. birdRS232WakeUp() fonksiyonu prototipi	29
Şekil 3.5. birdGetSystemConfig() fonksiyonu prototipi	31
Şekil 3.6. Flock of birds sensörünün çalışma kontrolü	31
Şekil 3.7. Flock of birds ile okunan verilerin saklanacağı birdframe yapısı	32
Şekil 3.8. Flock of birds ile verileri okuyan birdreading yapısı	33
Şekil 3.9. Flock of birds'ten tek bir çerçeve okumak için gerekli kod bloğu	33
Şekil 3.10. Başa takılan ekran	34
Şekil 3.11. Simülatör yazılımı çalışma prensibi	35
Şekil 3.12. Dönüşüm işlemleri	37
Şekil 3.13. Sahne yönetim modülü ağaç hiyerarşisi	38
Şekil 3.14. Dağınık ışığın şekil üzerindeki etkisi	40
Şekil 3.15. Yönsel ışık	41
Şekil 3.16. Noktasal ışık	41
Şekil 3.17. Fener ışığının parametreleri	42
Şekil 3.18. Yansıma ışığının şekil üzerindeki etkisi	42
Şekil 3.19. Kamera matrisi	43
Şekil 3.20. Sanal kamera	44
Şekil 3.21. Modelin dünya üzerindeki konumu	44
Şekil 3.22. Modelin kamera uzayındaki görünümü	44

Şekil 3.23. Euler döndürme açıları	45
Şekil 3.24. 3-boyutlu cisimlerin 2-boyutlu düzlemde gösterimi	46
Şekil 3.25. Kamera-projeksiyon ilişkisi	47
Şekil 3.26. Kaynak simülatörü ayar ekranı	47
Şekil 3.27. Simülatör program çevrimi	49
Şekil 4.1. Kaynak dikiş şekli ve parametreleri	52
Şekil 4.2. TIG kaynak işlemi için giriş ve çıkış parametreleri	53
Şekil 4.3. MIG kaynak işlemi için giriş ve çıkış parametreleri	53
Şekil 4.4. Parabol	54
Şekil 4.5. Kaynak dilişi için seçilen parabol şekli	55
Şekil 4.6. Kaynak dikişi kesiti parametreleri	55
Şekil 4.7. Karar verilen YSA modeli özellikleri	58
Şekil 4.8. Karar verilen YSA modeli çalışma prosedürü	58
Şekil 4.9. TIG kaynak dikiş boyutları öngörüsü için kullanılan YSA'nın şematik gösterimi.....	59
Şekil 4.10. TIG kaynak dikiş boyutları öngörüsü için kullanılan YSA'nın Matlab gösterimi.....	59
Şekil 4.11. MIG kaynak dikiş boyutları öngörüsü için kullanılan YSA'nın şematik gösterimi.....	61
Şekil 4.12. MIG kaynak dikiş boyutları öngörüsü için kullanılan YSA'nın Matlab gösterimi.....	62
Şekil 4.13. Üçgen kafes modeli için AABB_hesapla algoritması	66
Şekil 4.14. 3B kafes modelinden hacimsel ikili voksel veri kümesi elde etmek için gerçekleştirilen algoritmanın sözde kodu	66
Şekil 4.15. Voksel / üçgen kesişim testi algoritması	67
Şekil 4.16. Hacim doldurma algoritmasının sözde kodu	68
Şekil 4.17. Kaynak dikiş parçasının parabol ve voksel görünüşleri.....	68
Şekil 4.18. Yürüyen küpler algoritması	72
Şekil 4.19. Voksel köşe indis değeri hesaplama	72
Şekil 4.20. Voksel kenar değeri hesaplama	73
Şekil 4.21. Yürüyen küpler yönteminin 2B gösterimi	73

Şekil 4.22. Yürüyen küpler algoritması için temel 256 durumun indirgendiği kalıp.....	15
kalıp.....	74
Şekil 5.1. TIG kaynak işlemi ekran görüntüsü	78
Şekil 5.2. MIG kaynak işlemi ekran görüntüsü	78
Şekil 5.3. Voksellenmiş kaynak dikişinin üstten görünümü	79
Şekil 5.4. Voksellenmiş kaynak dikişinin yandan görünümü	79

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Analiz edilen simülatörlerin karşılaştırılması	50
Tablo 4.1. Literatür giriş/çıkış parametreleri tablosu	52
Tablo 4.2. YSA ara katman nöron sayısı belirleme denemeleri (TIG kaynağı)	60
Tablo 4.3. YSA ara katman nöron sayısı belirleme denemeleri (MIG kaynağı)	62
Tablo 4.4. Örnek bir parabolün farklı iş-parçacığı sayılarına ve çözünürlüğe göre yüzey vokselleme süreleri.....	67
Tablo 4.5. Örnek bir kaynak dikişi için parabol sayısı, çözünürlük ve farklı iş-parçacığı sayılarına göre toplam yüzey vokselleme süreleri	67
Tablo 4.6. Örnek bir parabolün farklı iş-parçacığı sayılarına ve çözünürlüğe göre hacim vokselleme süreleri	69
Tablo 4.7. Örnek bir kaynak dikişi için parabol sayısı, çözünürlük ve farklı iş-parçacığı sayılarına göre Yürüyen Küpler algoritması işlem süreleri .	75
Tablo 5.1. Bir parabol için toplam çizim süresi	78

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kaynak dikiş, sanal kaynak simülatörü, vokselleme, yürüyen küpler

Bu çalışmada, kaynakçı adaylarının eğitimi amacıyla geliştirilen düşük maliyetli sanal kaynak simülatörü için gerçek zamanlı ve üç boyutlu bir kaynak dikiş formu modellenmiştir. Adaylar bu simülatör vasıtasıyla kaynak tekniklerini herhangi bir iş kazasına neden olmadan güvenli bir ortamda öğrenebilir ve kısa sürede normalden daha fazla uygulama yaparak becerilerini geliştirebilirler. Geliştirilen simülatörde, Flock of Birds konum ve oryantasyon sensörü ile başa takılan ekran gibi özel sanal gerçeklik aygıtları kullanılmıştır.

Simülasyon, torcun konumunu izleyen Flock of Birds sensör cihazından gelen verilere dayanarak, kaynak dolgu şeklini ve nufuziyet miktarını belirler. Kaynak dolgu şekli oluşturulurken, kaynak dikiş kesitinin parabol ile benzerliği nedeniyle bu şekil temel dolgu birimi olarak kullanılmıştır. Kaynak dikişimizi oluşturacak temel dolgu şeklinin yükseklik, genişlik ve nufuziyet parametrelerine ait değerler literatürdeki kaynak dikiş deneylerinden elde edilmiştir.

Sanal kaynak işlemi esnasında, kaynak dolgu şekli parametre değerleri belirli zaman aralıklarında, ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı kullanılarak hesaplanır. Ağ kurgusu yapılırken eğitim fonksiyonu olarak TrainLM (Levenberg-Marquardt) referans alınmıştır. En uygun transfer fonksiyonu belirlenirken de en iyi sonucu LogSig() fonksiyonunun verdiği saptanmıştır. Ara katman sayısı ve her ara katmandaki proses elemanı (nöron) sayısının kaç olacağına deneme/yanılma yöntemiyle karar verilmiştir.

Aynı zaman aralığında voksel haritası ve buna karşılık gelen hash tabanlı sekizli ağaç veri yapısı gerçek zamanlı olarak oluşturulur. Voksellenen veriler kullanılarak, kaynak dolgusunun üçgenlerden oluşan eş yüzeyleri, yürüyen küpler algoritması ile yeniden oluşturulur. Bu sayede daha gerçekçi bir kaynak dikiş görüntüsü elde edilir. Bu görüntü ve sanal sahne devamlı olarak başa takılan ekrana yollanarak sanal ortam içindeki gerçeklik hissi devam ettirilir.

Vokselleme ve eş yüzey oluşturma işlemleri için yüksek çözünürlüklü sanal sahnelerde işlem süresini kısaltmak için de çok iş parçacıklı programlama tekniği kullanılmıştır. Farklı iş parçacığı sayıları için eş yüzey oluşturma süreleri de gösterilmiştir.

MODELING OF WELD SEAM FORM BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND VOXELIZATION METHODS

SUMMARY

Keywords: Weld seam, virtual welding simulator, voxelization, marching cubes

In this study, a real-time and three-dimensional weld seam form was modeled for a low-cost virtual welding simulator developed for training welder candidates. Through this simulator, candidates can learn welding techniques in a safe environment without causing any work accidents and improve their skills by performing more applications than usual in a short time. In the developed simulator, special virtual reality devices such as Flock of Birds position and orientation sensor and head mounted display are used.

The simulation determines the weld bead shape and amount of penetration based on data from the Flock of Birds sensor device monitoring the position of the torch. When forming the weld bead shape, parabola was used as the basic bead shape unit due to the similarity of the weld bead slice with the parabola. The values of the height, width and penetration parameters of the basic weld bead shape that will form our weld seam were obtained from the weld seam experiments in the literature.

During the virtual welding process, the weld bead shape parameter values are calculated at specified time intervals using the feed-forward back-propagation artificial neural network. TrainLM (Levenberg-Marquardt) was used as the training function for network design. While determining the most appropriate transfer function, it was found that LogSig () function gave the best result. The number of hidden layers and the number of process elements (neurons) in each hidden layer were determined by trial and error method.

In the same time interval, the voxel map and the corresponding hash-based octree data structure are generated in real time. By using voxelized data, the triangular isosurfaces of the weld bead are reconstructed using the marching cubes algorithm. This results a more realistic weld seam appearance. This image and virtual scene are continuously sent to the head mounted display to maintain the sense of reality in the virtual environment.

Multi-threaded programming technique is also used to shorten the processing time in high resolution virtual scenes for voxelization and isosurface extraction processes. The isosurface extraction times for different number of threads are also shown.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kaynak imalat endüstrisinde sık kullanılan bir birleştirme yöntemidir. Kaynak operatörlerinin birleştirme işlemini gerçekleştirme becerisi, kaynak kalitesini direkt etkileyen en önemli bileşenlerdendir. Teknolojik ilerlemelerle birlikte kaynak teknikleri de gelişmektedir. Bu gelişmeler içinde otomatik kaynak makineleri ile emniyetli kaynak dikişleri çekilmektedir. Otomatik olmayan kaynak makineleri ile emniyetli kaynak dikişlerinin çekilmesi ancak iyi yetişmiş kaynak operatörleri tarafından yapılabilmektedir. Bu tür kaynak işlerinde çalışan bir kaynak operatörü çok çeşitli kaynak işlerini yapabilecek derecede bilgi ve tecrübeye sahip olmalıdır. Kaynakçıların yeterli beceri ve bilgiye sahip olabilmesi için de iyi bir kaynak eğitimi alması önemlidir. Bu eğitim süreci uzun ve pahalıdır. Malzeme, enerji, zaman, iş kazaları vb. azaltılmasını hedefleyen sanal kaynak simülatörlerinin eğitimde kullanılması bu süreçteki maliyetleri düşürmektedir. Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte simülatörler algıların çok gerçekçi olarak yaşanabilmesini sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında, oluşturulan bir sanal kaynak simülatörünün yapısı ve bu simülatörde kullanılan kaynak dikiş formunun vokselleme yöntemi ile modellenmesi verilmiştir.

1.1. Kaynak Birleştirme Yöntemi

Günümüzde birçok alanda ihtiyaca göre birleştirme yöntemleri bulunmaktadır. Mekanik birleştirme tekniklerinin dışında kaynak, lehimleme, yapıştırma, difüzyon gibi oldukça farklı birleştirme alternatifleri mevcuttur. Dolayısıyla mühendislerin en uygun birleştirme tekniğini seçebilmeleri için, öncelikli olarak bu teknikler hakkında yeteri derecede bilgiye sahip olmaları gerekmektedir. Birleştirme teknikleri incelendiğinde, en yaygın kullanılan yöntem olarak kaynaklı birleştirmeler karşımıza çıkmaktadır.

Kaynak, metal iki malzemenin sıcaklık veya basınç altında kalıcı bir biçimde birleştirilmesidir. Eritme kaynağı ve basınç kaynağı olarak iki ana gruba ayrılır. Eritme kaynağı metalin kısmi alanlarını sıcaklık ile eritip ilave bir metal ekleyerek ya da eklemeyerek birleştirmektir. Basınç kaynağı ise malzemeyi dışarıdan ısı uygulayarak veya uygulamadan genel olarak ilave metal kullanmaksızın basınç altında kısmi bir şekilde ısı ile birleştirmektir. İyi ve kaliteli bir kaynak oluşturmak için basınç, ısı ve koruma/temizleme ortamı gereklidir ve aynı zamanda zararlı metalurjik durumlardan da kaçınılmalıdır. Günümüz endüstrisinde en sık uygulanan eritme kaynağı yöntemlerinden biri elektrik ark kaynağıdır. Bu kaynak türünün en bilinen çeşitleri de Elektrik ark, TIG (Tungsten Inert Gas) ve MIG (Metal Inert Gas) kaynaklarıdır [1,2].

Kaynaklı birleştirme yöntemi gerek ulusal gerekse de uluslararası düzeyde tersane, otomotiv endüstrisi, çelik makine/inşaat yapıları ve köprüler gibi birçok sahada uygulama alanı bulan yaygın ve ekonomik bir birleştirme metodudur. Maliyet, güvenlik, optimum imalat ve teknolojik kavramlar göz önüne alındığında, kaynak uygulamasını gerçekleştiren kaynakçının kaliteli ve etkili bir kaynak eğitiminden geçmesi gerekmektedir. Kaynakçıların yetiştirilmesinde teknolojik bilgi birikimlerinin yanı sıra, el becerilerinin geliştirilmesi amacıyla temrin parçalarına çeşitli kaynak uygulamaları yapılmaktadır [3]. Kaynaklı birleştirmelerde teknolojik bilgi ve birikim her ne kadar önemli olsa da el becerisi ve tecrübe kaynak işlemi için çok önemli parametrelerdir. Çünkü kaynakla yapılan birleştirmeler, teknolojik bilgi birikimi ışığında el-kol açısı ve hareketleri ile yapılan uygulamalardır. Kaynakçıların eğitilmesi esnasında, geleneksel olarak temrin olarak isimlendirilen parçalar kullanılır ve kaynakçı adayları çok miktarda temrin parçası israf ederek el becerilerini geliştirmeye çalışırlar. Bu parçalar, eğitim amaçlı olduğundan dolayı tekrar bir iş parçası olarak kullanılmazlar. Kaynakçı adayının eğitimi boyunca defalarca kaynak deneme işlemi tekrarlanır ve dolayısıyla maliyetleri yükselir.

1.2. Sanal Gerçeklik

Bilgisayarların hız ve kapasitelerinin artması ve aynı zamanda maliyetlerinin de azalması tasarım ve üç-boyutlu (3B) modelleme için çok elverişli bir durum sağlamaktadır. Mühendis, akademisyen, eğitmen, sanatçı vb. tasarımcılar üç-boyutlu modelleme yazılımları kullanarak çalışmaktadırlar. Günümüz 3B modelleme araçlarının sanal gerçeklik ortamları tarafından sağlanan etkileşim yeteneğine sahip olmayışları, tasarımcıları, gerçek dünyadaki fiziksel kurallara uygun sanal ortam araçları kullanarak tasarım modelleri oluşturmaya ve bu modellerle etkileşimde bulunmayı sağlayan sanal ortamları geliştirmeye yönlendirmektedir. Bu konuda sanal gerçeklik uygulamaları gerçek dünya veya gerçek malzemeler olmadan, algıların çok gerçekçi olarak yaşanabileceğine dair önemli bir örnektir ve son yıllarda büyük bir gelişme göstermiştir.

Sanal gerçeklik, bilgisayar ortamında çizilen 3 boyutlu görüntülerin, çeşitli donanım aygıtlarıyla kullanıcılara “gerçek bir dünya” gibi hissettirilmesidir. Yani aslında 3 boyutlu çizim ortamında gerçek dünya deneyimlerine yakın etkileşim oluşturan bir benzetimdir [4]. Duyu organları, oluşturulan bu yapay ortamda bir gerçekliği algılar şeklinde hareket etmektedir. Günümüzde farklı amaçlarla birçok farklı alanda kullanılan bu tür teknolojilere “yapay gerçeklik” ya da “sanal ortamlar” gibi isimler de verilmektedir. Bu sanal gerçeklik sistemlerinin en önemli özelliği, yardımcı donanımlar kullanan kişinin gördüğü görüntüyü gerçek olarak düşünmesi ve kendisini kaptırmasıdır. Böylece kişi farklı ortamlarda çeşitli deneyimler yaşayabilir ve girilen yapay ortamla etkileşim olanağına sahip olur [5-8].

Sanal gerçeklik sistemlerindeki programlar son derece karmaşık yazılım programlarıdır. Oyun programlarındaki yapı ve çevrimlerin benzeridir. Tek düze olay bazlı veya sıralı mantıksal programlamalardan farklı olarak simülasyon ve gerçek zamanlı bir programlamadır. Oyun programları sürekli bir çevrim olup bir mantık çerçevesinde saniyede 30-60 görüntüyü ekrana çizen programlardır. Sanal gerçeklik programlarının oyun programlarından ayrılan yanı ise etkileşimin kullanıcı üzerine giydiği özel ve pahalı cihazlarla artırılmış olmasıdır. Yani oyun programlarına göre

daha geniş bir yapıda olmasıdır. Günümüzde gerek oyun programcılığında gerekse sanal gerçeklik programcılığında hazır grafik motorları (oyun motoru, sanal gerçeklik motoru) kullanılmaktadır [9].

Bir sanal gerçeklik ortamının içermesi gereken özellikleri 3B grafik ortam, içine girme/dalma, etkileşim, hayal gücü ve duygusal geri dönüşür [10-12]. ‘3B grafik ortam’ hayal ürünü bir mekân olabileceği gibi gerçek dünyanın bir modellemesi de olabilir. “İçine girme/dalma” zihnimizin gerçek dünyadan kopup yapay ortama adapte olmasıdır. Kullanıcı ile ortamın birbirine tepki vermesine “etkileşim” denilmektedir. Kullanıcının içine girdiği sanal ortamdan etkilenmesi de ‘duygusal geri dönüşü’ tanımlar.

Sanal bir dünya oluşturmak için kullanılan aletler amaçlarına göre farklılık göstermektedir. Kullanıcının gerçek zamanlı olarak kendi hareketlerine göre sanal ortamı izlediği head-mounted display (başa takılan ekran), başın hangi yöne baktığını belirleyen baş izleme giriş birimi, dokunma hissi veren elektronik bir eldiven, üzerinde konum ve oryantasyon sensörleri bulunduran veri kıyafetleri, hareket analizinde kullanılan uzay topları ve projeksiyonlarla oluşturulan mağaralar (cave) vb. örnek olarak verilebilir. Sanal bir ortamın oluşturulması için kullanılacak olan cihazlar, duyu organlarımızın algılayabileceği şekilde tasarlanır. Örneğin, ele takılan veri eldivenlerindeki mekanizma ile parmaklara bazı sinyaller verilerek bu sinyalleri yorumlayan kişi, aslında etrafında hiç olmayan bir cisme örneğin bir hayvana, bitkiye, duvara veya üzerinde kabartılar olan seramik ya da cam bir süs eşyasına dokunduğunu hissedebilmektedir.

Sanal gerçekliğin kullanım alanları çok geniş olup eğitimden tıp’a, inşaat sektöründen eğlence sektörüne kadar uzanmaktadır. Örneğin yapım maliyetleri yüksek olan inşaat ve mimari tasarımlarda mühendislerin sifıra yakın hata payı ile çalışmaları gerekmektedir. Tasarımlarında kullanacakları formülasyon ve malzemeleri öncelikle sanal ortamda denediklerinde büyük projelerin hem maliyetleri düşecek hem de başarıya ulaşma yüzdeleri artacaktır [13, 14].

Görölmek istenen yeni binalar, tesisler olabileceği gibi müzeler, tarihi köprüler ve binalar gibi turistik yapılar da olabilir. Uzak mesafelere ulaşmanın zaman ve maliyet açısından zorlu olduğu durumlarda ilgili mekânların 3B modelleri oluşturularak sanal gerçeklik teknolojisi ile ziyaretçilerin kendilerini o ortamda hissetmeleri sağlanabilmekte [15-18] ayrıca kültürel mirasın korunması açısından da kazanımlar elde edilmektedir [19, 20].

Sanal gerçeklik alışveriş dünyasında da bazı kolaylıklar sunmaktadır. Müşterilerin alışveriş mağazasında almak isteyeceği kıyafetler için soyunma kabinlerinde birçok prova yapması gerekir. Zamanı ve deneme fırsatı olmayanlar yine sanal mağazalarda gerçek mağazadaymış gibi hissederek istedikleri kıyafetleri kısa sürede ve yorulmadan deneyerek alabileceklerdir [4, 21-23]. Bu uygulamalar, el, kol, bacak hareketlerini algılayan Kinect isimli sensör takımıyla gerçekleştirilmektedir.

Sanal gerçekliğin yaygın kullanılmaya başlandığı diğer bir alan sağlık sektörüdür. Sağlık personelinin herhangi bir iş kazası olmadan öğretiler kazanmaları ve mevcut olan yeteneklerini daha da geliştirebilmeleri için güvenli bir ortam yaratır [24]. Riskli ya da zor geçen tıbbi ameliyatların sanal gerçeklik ortamında benzeri oluşturularak, deney hayvanları veya insanlar kullanılmadan yapılması sağlanır. Böylece sanal ortamdan alınan sonuçlar ışığında yeni teknik ve bilgilere ulaşarak hastaların en düşük riskle tedavisi amaçlanır. Böcek korkusu, uçan cisim korkusu ve klostrofobi gibi fobileri olan hastalar oluşturulan sanal ortamda korkularıyla tekrar tekrar yüzleştirilip rahatlıkla tedavi edilmektedirler [25]. Travma sonrası stres bozukluğu tedavisi, beyin hasarlarının değerlendirilmesi ve rehabilitasyonu, otizmli hastalara destek olunması, meditasyon gibi çeşitli alanların yanı sıra kaygı bozuklarının giderilmesi ile ilgili birçok sanal uygulama tedavilerinin başarılı olduğu görölmektedir [26, 27]. Basit bir sanal gerçeklik uygulaması, senaryosu eğitimci tarafından belirlenen bir olayın oyunlaştırma yöntemiyle tartışılması olabilirken, daha profesyonel bir uygulama öğrencilere bilgisayarlı hasta simülatörü ile hasta bakımını gerçekleştirme imkânını sunmaktadır [28].

Sanal gerçeklik sistemlerindeki maliyetlerin azalması ve performansın artışı neticesinde simülasyonlar eğitim teknolojileri arasında yerini almıştır. Günümüzde simülasyon geliştirme maliyetleri azalmış, yalnızca uçuş ya da denizaltı simülasyonları gibi alanlarda değil, kaynakçı eğitimi gibi konularda da uygulanmaya başlamıştır. Kaynakçı yetiştirme beceri ve deneyimleri, ilk önce sanal eğitim simülasyonları vasıtasıyla yapıldığında zaman, maliyet ve enerji açısından önemli kazanımlar elde edilmektedir [29]. Sanal kaynak simülasyonları, kaynakçı olmak isteyen adayların teknoloji destekli bir ortam aracılığı ile kaynak eğitimi alabilmelerine, kendilerini geliştirmelerine ve sanal ortamda kaynak uygulaması yapmalarına olanak sağlamaktadır.

1.3. Tezin Amacı

Üç-boyutlu sanal kaynak dikiş formu oluşturma sistemi için amaçlanan temel katkılar aşağıdaki gibidir:

Gerçeğe yakın 3B görüntü: Yapılan kaynak dikişinin iş-parçası üzerindeki oluşumu gerçeğe yakın olarak görüntülenmelidir. Örneğin, dikiş üzerindeki inişli çıkışlı yapı formunun yükseklik, genişlik ve nüfuziyet değerleri gerçek kaynak dikiş görüntüsüne uygun olmalıdır.

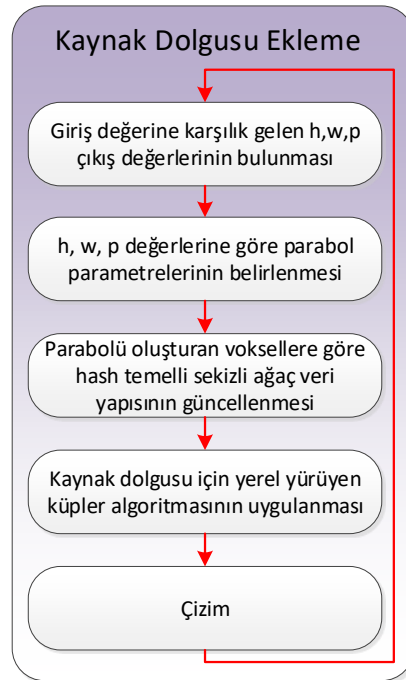
Gerçek zamanlı işlem: Dikiş işlemi ekrana gerçek-zamanlı olarak yansıtılmalıdır. Giriş parametre değerlerine uygun gelen çıkış değerleri hesaplanmalı ve bu çıkış değerleri ile oluşturulan dikiş formu görüntüsünün güncellenmesi gerçekleştirilmelidir.

Bellek kontrolü: Modellerin hacim verilerinin oluşturulması işleminin belleğe yüklediği yükün azaltılması gerekir.

Bu çalışmanın temel amacı, ark kaynağı eğitim uygulamalarında kullanılabilecek bir sanal kaynak simülasyonu için gerçek zamanlı kaynak dikiş formu oluşturarak dikiş formu görüntüleme konusuna katkı yapmaktır. Parabol eğrileri ile oluşturulan 3B kaynak dolgularının yan yana dizilmesiyle meydana gelen kaynak dikiş modelimiz

ilk olarak üçgen ızgara modelindedir ve hacimsel veri kümesini elde etmek için modelin yüzeyi vokseleştirme yöntemi [30] ile çizilmiştir. Dikiş kesitinin incelenmek istenmesi durumunda iç hacmi de vokseleştirilir. Dikişin iç kısmında yer alan vokseller ise tohum-doldurma isimli algoritma kullanılarak gerçekleştirilir [31]. Meydana gelen kaynak dikişinin 3B veri kümesini oluşturmak için sekizli ağaç veri yapısı kullanılmıştır. İşaretçi temelli sekizli ağaç veri yapısı yerine bellek kullanımını düşüren hash temelli ağaç veri yapısı [32] tercih edilmiştir. Kaynak işlemi bittikten sonra, dikişin pürüzlü yüzey görüntüsünü daha gerçekçi olarak görüntülemek için, “Yürüyen Küpler” isimli yüzey oluşturma algoritması [33] kullanılarak dikiş modelinin yüzeyi yeniden oluşturulmuştur.

Bu çalışmada önerilen kaynak dikiş formu elde etme sistemi Şekil 1.1.’de gösterilmektedir. Sistem bileşenlerinin özellikleri 4. bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 1.1. Önerilen kaynak dikiş formu oluşturma sistemi

1.4. Tezin Organizasyonu

Tezin bundan sonraki düzeni aşağıdaki gibidir:

Bölüm 2.'de, genel olarak sanal kaynak simülatörleri ve önerilen kaynak dikiş formu bileşenleri konularında yapılan literatür çalışmalarına yer verilmiştir.

Bölüm 3.'te, oluşturulan sanal kaynak simülatörünün yapısı ile ilgili ayrıntılar verilmiştir.

Bölüm 4.'te, önerilen kaynak dikiş formunun bileşenleri olan vokselleme, sekizli ağaç veri yapısı ve yürüyen küpler algoritması detaylı olarak anlatılmıştır.

Bölüm 5.'te ise tezde önerilen kaynak dikiş formu yapısının avantajları anlatılmış ve önerilere yer verilmiştir.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, sanal kaynak simülatörleri ve kaynak dikiş geometrisi öngörülerini için literatürde yapılan çalışmalara değinilmiştir.

2.1. Sanal Kaynak Simülatörleri

Sanal kaynak simülatörü; kaynak işleminde kullanılan kaynak elemanlarının ve birleştirilecek parçaların üç boyutlu sanal bir dünyada oluşturulduğu ve kullanıcının eline tutturulan konum ve oryantasyon sensörleri ile etkileşimin sağlandığı bir sistemdir. Bu sistemde kullanıcı, kaynak başlığı içerisine tutturulmuş, başa takılan stereo ekran sayesinde dış dünyadan ilişkisini kesip sadece sanal dünyayı görebilmektedir [34]. Eğitim süreci maliyetli olan kaynak öğretimi geliştirilen bilgisayarlı kaynak simülatörleri vasıtası ile daha kolay olmakta, yaralanmalara neden olmadığı için güvenli ortam oluşturmaktadır. Kaynakçı adaylarının kas hafızası öğrenimi ve kaynak teknikleri gelişimi adayları kariyerleri için cesaretlendirmektedir. Sarf malzeme maliyetini düşürmesi de bu simülatörlerin önemli bir artısıdır. Ayrıca bu simülatörler sayesinde herhangi bir kaynak donanımına ihtiyaç duymadan kaynak araştırmaları da yapılabilmektedir.

Kaynak simülatörlerini eski nesil ve yeni nesil simülatörler olmak üzere 2 kategoriye ayırmak mümkündür [34]. Eski nesil simülatörler 2B görüntü sağlayan ve kaynak kalitesi hakkında bilgi vermeyen simülatörlerdir. Yeni nesil simülatörler ise 3B görüntü kalitesi ile kullanıcılara gerçek ortam hissiyatını yaşatan sanal gerçeklik simülatörleridir. Literatürde her iki tür simülatörler ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

Wu ve arkadaşları [35-36] tarafından yapılan çalışmalarda eski nesil simülatörler olan dönemin kaynak simülatörlerinin eğitime katkısı incelenmiştir. Torç hareketlerini miknatis sensörler ile izleyen ve görüntüyü 2B olarak monitöre veren bir simülatör tasarlanmış, devamında adaylara bu simülatör ile eğitim verilmiştir. 220 öğrenciye 2 yıl süreyle uygulanan kaynak eğitimi sonucunda ıskarta oranı düşürülerek, minimum maliyet ile daha kaliteli kaynakların yapıldığı rapor edilmiştir.

Heston [37] Amerika’da geliştirilip kullanımı yaygınlaştırılan sanal simülatörlerin öğrencilerin kaynak eğitimi üzerinde yaptığı faydalı etkisi üzerine incelemeler yapmıştır. Çalışmada sanal gerçeklik ile eğitimin olumlu faydası görüldüğünden alışla gelen eğitimden önce mutlaka simulator ile eğitimin yapılması önerilmiştir.

Bu çalışmalara ek olarak, ark kaynak işleminin sayısal simülasyonu sonlu elemanlar yöntemi ile üç boyutlu yapılmış [38] ve rapor edilmiştir.

Eski nesil kaynak simülatörleri ile ilgili olarak çeşitli bilim adamları tarafından [39-42] ark kaynağı ve bu kaynak yöntemi tarafından yapılan sanal kaynak eğitimi ile ilgili detayları üzerine çeşitli patentler alınmıştır. Ayrıca kaynak simülatöründe torcun hareketinin simülasyonunu sağlayan düzene [43] ve kaynakta spotu gösteren sistem [44] üzerine de patentler vardır.

Sakarya Üniversitesi’nde “Simülasyon ve Temrinle Ark Kaynakçısı Yetiştirme Programı” isimli lisans üstü bir tez [45] ve sonra da Fındık ve Top tarafından simülatörlerle ilgili bir makale [46] yayınlanmıştır. İncelemelerde, KOSGEB bünyesinde bulunan ve yurtdışından ithal edilen zayıf etkileşimli bir kaynak simülatörü kullanılarak 24 öğrenci ile uygulama yapılmıştır. Öğrencilerin iki gruba ayrıldığı bu çalışmada ilk grup TIG ve MIG kaynak çeşitlerini öncelikle kaynak simülatöründe gerçekleştirmiş, sonrasında ise yapmış oldukları gerçek kaynak uygulamalarında daha iyi sonuçlar aldıkları, daha başarılı kaynaklar yaptıkları ve ıskarta oranını önemli miktarda azalttıkları görülmüştür.

Yeni nesil kaynak simülatörleri, yazılım ve donanım teknolojileri kullanılarak, sanal ortamla kullanıcı arası etkileşimin sağlandığı 3B simülatörlerdir. Bu simülatörler

üzerinde ilk olarak, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Fransa'da çalışılmaya başlanmıştır.

Mavrikos [47] tarafından gerçekleştirilen çalışmada 3B interaktif MIG/MAG kaynak simülatörü tanıtılmış, donanım ve yazılım parçaları anlatılmıştır. Çalışmada kullanılan donanımlar Silicon Graphics ONYX2 iş istasyonu, başa takılan ekran, sensör takip sistemi ve 18 sensörlü veri eldiveni olup, yazılım için de IRIX6.5 işletim sistemi üzerinde Infine Reality2 oyun motoru kullanılmıştır. Ortam modellemesi Pro/Engineer V.20 ile gerçekleştirilmiştir. Bu simülatör ile kullanıcıların sanal kaynak işlemi öncesinde kaynak parametrelerini ayarlayabildikleri ve işlem sonrası kaynak dikişini görebildikleri belirtilmiştir.

Diğer bir MIG kaynak simülatörü heptik cihaz, başa takılan ekran, 6-serbestlik dereceli sensor sistemi ve hoparlör kullanılarak Fast [48] tarafından tasarlanmıştır. Torç heptik cihaza montelenmiş ve böylece torcun pozisyon bilgisi alınmıştır.

White [49] Fast'in çalışmasını güncelleyerek kendi simülatörünü tasarlamıştır. Bu çalışmada heptik cihaz yerine hareket yakalayıcı kamera kullanılmıştır. Kendi oyun motorunu tasarlayan White, OpenGL komutlarını nVidia Quadro ekran kartı ile gerçeklemiştir. Toplam maliyet hesabı yaparak simülatörünü düşük bir bütçeyle oluşturduğunu da vurgulamıştır.

Elektrik ark kaynağı eğitimi için simülatör tasarlayan Raheem [50] çalışmasında kaynak başlığının içerisine 8 inç ekran yerleştirmiş, torç için de bir grup sensörlerden oluşan düzenek kurmuştur. Bu sensörlerin ölçtüğü büyüklükler ark mesafesi, torç hızı ve kaynak açısı değerleridir. Bu çalışma her ne kadar DirectX11 grafik kütüphanesini kullanarak yeni nesil bir simülatör yapısında olsa da, kaynak görüntüsü açısından 2B görüntü sunması çalışmanın giderilmesi gereken bir eksikliği olarak düşünülebilir.

Bir başka sanal kaynak simülatörü tasarımında [51-53] sanal ortamdaki modeller 3dsMax 2017 ile modellenmiştir. Unity3d oyun motorunun kullanıldığı yazılımda 3B

modellere ait poligon, renk, materyal, desen kaplama vb. bilgiler VRML sanal gerçeklik modelleme dili ile kaydedilmiş ve kullanıcı oluşturulan sahnelerle bu dilin sağladığı fare/klavye, ses, ışıklandırma vb. şekillerde canlandırmalarla etkileşim kurmuştur. Donanım olarak başa takılan ekran, veri eldiveni ve konum sensörleri bulunmaktadır. Tasarlanan sistemde hareketleri algılayabilmek için sensörlerden gelen verileri değerlendirmek üzere Arduino Mega 2560 kullanılmıştır.

Kaynak simülatörleri alanında yukarıda belirtilen akademik çalışmaların yanında CS ve AFPA şirketlerine ait CS Wave Kaynak simülatörü [54], 123Certification şirketine ait Arc+ kaynak simülatörü [55, 56], Lincoln Electric şirketine ait VRTEX kaynak simülatörü [57] ve Fronius şirketine ait kendi isminde simülatörü [58, 59] bulunmaktadır. Bu simülatörlerin ticari olması yazılım modülleri hakkında bilgiye erişilememesine neden olmaktadır.

Dalto'nun çalışmasında tasarlanan ve tarafımızdan bizzat denenilen simülatörün [54] odak noktasının kaynakçı adaylarının el becerilerini geliştirmek olduğu görülmüştür. Üzerinde kaynak bilgi ve görüntülerinin izlenebildiği monitörün monte edildiği bir düzenek olan simülatör yeni nesil simülatörlere geçiş formunda olup kendinden sonraki simülatörlere de ilham olmuştur. Ekranda oluşan kaynak görüntüleri 2B formunda olup, adayın yapmış olduğu kaynak dikişlerinin puanlaması da izlenebilmektedir.

Choquet [55] 123Certification şirketi için tasarladığı TIG kaynak simülatörüne ait sanal gerçeklik donanımlarını tanıtmıştır. Kaynak başlığı içerisine monte ettiği başa takılan ekran ile sanal kaynak ortamının görüldüğünü, aynı görüntünün dışarıdan da izlenebileceğini belirtmiştir. Torç üzerine yerleştirilen sensörlerle konum ve açı bilgilerinin alındığı söylenmiş ancak kaynak dikişinin teorisi ve grafik motoru yazılımı hakkında bilgi verilmemiştir. Aynı simülatör daha düşük maliyetle, daha iyi görsellere sahip olarak ve daha çok kaynak çeşidi uygulaması yapacak şekilde tekrar tanıtılmıştır [56].

Günümüzün ideal sanal kaynak simülatörlerinden biri olan Fronius şirketine ait simülatör [58, 59] yılda 400 öğrencinin üzerinde eğitim aldığı ve başarılı kaynakçılar yetiştiren bir simülatördür. Diğer bir başarılı simülatör olan Lincoln Electric şirketine ait VRTEX 360 isimli kaynak simülatörü [57] de Fronius gibi ekipman ve kullanılabilirlik olarak çok başarılı bir tasarımdır. Her iki simülatör de kaynak başlığı içerisine monte edilen ekran ile sanal kaynak ortamının görüldüğü ve yine aynı görüntünün dışarıdan da izlenebildiği düzeneklerdir. Torç hareketleri, üzerine yerleştirilen konum sensörleriyle kontrol edilmekte ve kullanıcıların yaptığı kaynak dikişleri puansal olarak değerlendirilebilmektedir. Birçok kaynak türünde deneme yapılabilen bu simülatörde sanal ortamda kaynak dikişinin 3B görsel olarak incelenemeyişi bu simülatörün dezavantajıdır.

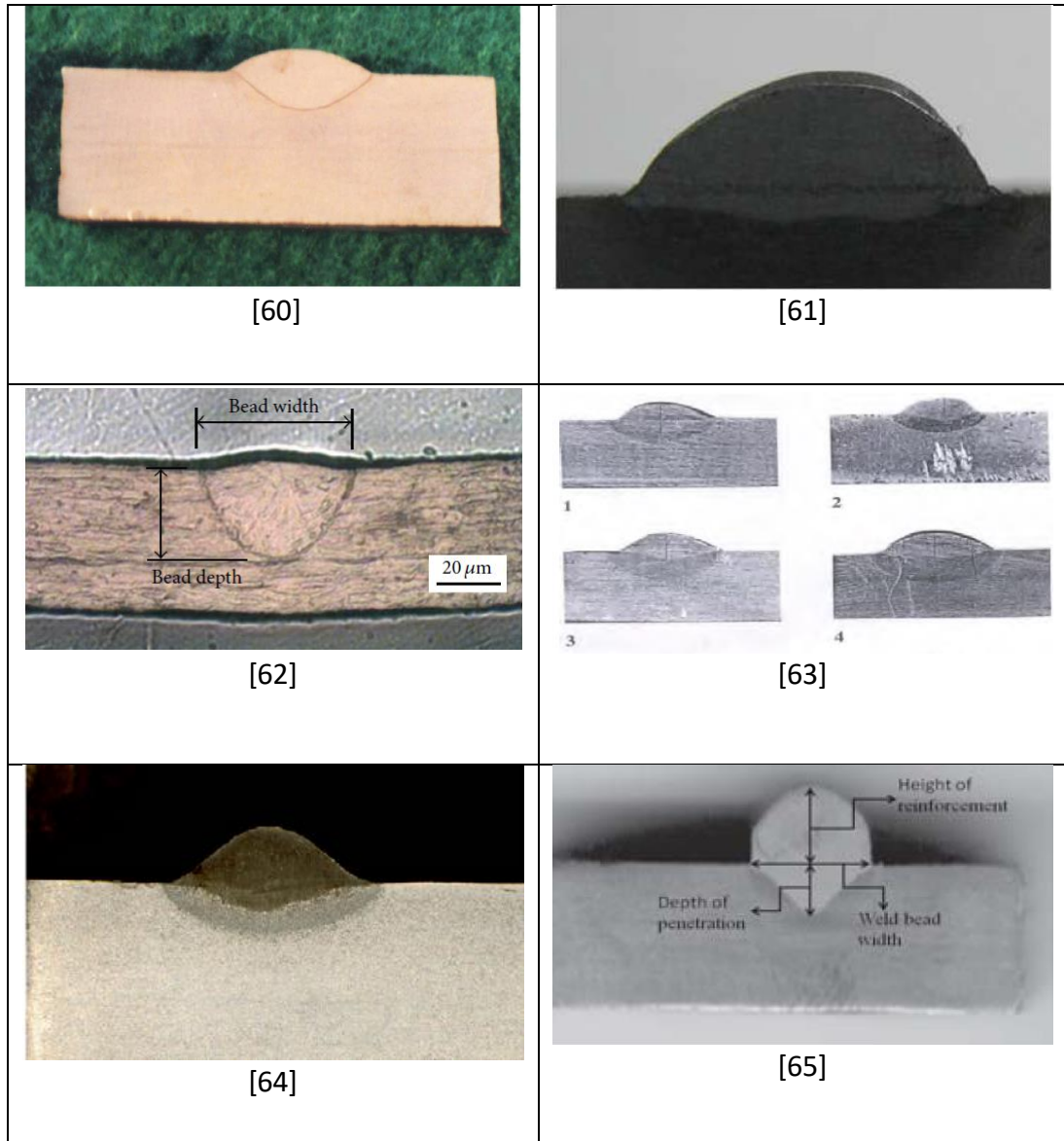
2.2. Kaynak Dikişi

Doğadaki birçok olay fizik ve matematik kanunları yardımıyla anlaşılmaya çalışılır. Olaylar kendilerine ait büyüklükler yardımıyla ve matematiksel denklemlerle ifade edilebilmektedir. Bir problem, anlaşılması daha kolay alt problemlere ayrılarak da çözülebilir hale getirilebilir. Şekil 2.1.'de görüldüğü üzere, kaynak işlemi sonucu oluşan ideal dikiş kesitlerine [60-65] bakıldığı zaman temel olarak üç büyüklük [66-74] karşımıza çıkmaktadır. Bunlar kaynağın yüksekliği, genişliği ve derinliğidir (Şekil 2.2.).

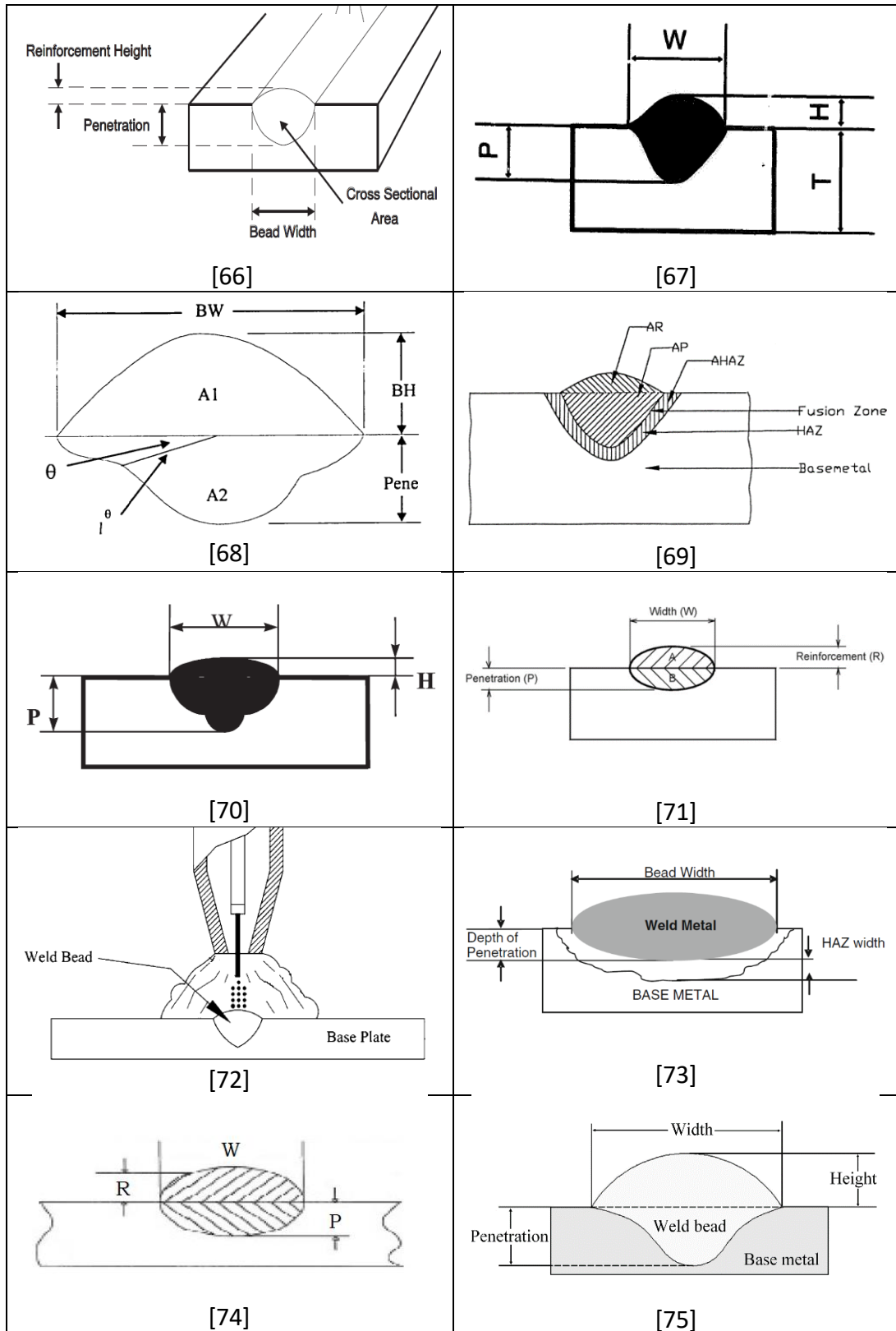
Kaynak derinliğine nufuziyet ismi verilir. Kaynak dikişi nufuziyeti için yapılan çalışmalara bakıldığında nufuziyet kavramı 3 kategoride incelenmektedir. Bunlar kapalı form ifadeleri, devirli akış nufuziyeti ve eriyik kaynak alanı nufuziyetidir. Kapalı form ifadeleri akım, gerilim, hız, salınım açısı, ilerleme açısı, ark mesafesi ve diğer kaynak işlem parametreleri ile açıklanır. Devirli akış nufuziyeti mekanizması materyal tipine bağlı olarak düşük akım değerlerinde yapılan kaynakta eriyik metalin ısı yayılım hareketiyle açıklanır. Eriyik kaynak alanı nufuziyeti ise kaynak alanında toplanan eriyik metalin ark basıncı ve plazma kesme gerilimi ile geriye doğru itilmesinden sonra incelenir. Duman'ın [75] çalışmasında devirli akış nufuziyeti

mekanizmasıyla ilgili yapılan çalışmalardan bahsedilmiş ayrıca eriyik kaynak alanı nufuziyeti mekanizması da detaylıca anlatılmıştır.

Bu tez kapsamında, daha kolay anlaşılır olmasından dolayı kapalı form ifadeleri ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Devirli akış nufuziyeti ve eriyik kaynak alanı nufuziyeti konuları yoğun matematiksel işlemler gerektirmekte olup anlaşılması bu tezin konuları arasında değildir.



Şekil 2.1. Kaynak dikiş kesitleri



Şekil 2.2. Kaynak dikişi kesit modellemesi

2.2.1. Matematiksel modeller

Kaynak dikiş modelleri için yapılan çalışmaları gerçek zamanlı olup olmamasına göre iki gruba ayırabiliriz. Bunlardan ilki, kaynak simülatörleri ve kaynak simülasyonlarında kullanılacak gerçek zamanlı kaynak dikiş modelleri çalışmaları, ikincisi ise offline (gerçek zamanlı olmayan) olup dikiş kesiti gibi incelenecek durumları gösteren çalışmalardır. İkinci grupta yapılan çalışmalarda parçadan bütüne gitme prensibine dayanan sonlu elemanlar metodu [77] sıkça kullanılmıştır. Bu metod kullanılarak, ısı transfer alanı, artan germe-gerilim, biçimdeki bozulma ve çatlaklar hesaplanarak, yüksek doğruluklu modeller oluşturulmaktadır. Bu yöntem kaynak işlemini ve kontrolünü anlamak için faydalı ancak yoğun hesapsal işlemler gerektirdiğinden yeteri kadar hızlı değildir, dolayısıyla gerçek zamanlı kullanım için yavaş kalmaktadır [78-81]. SYSWELD, WELDSIM ve ANSYS bu metodu kullanan özel yazılım paketleridir.

Nüfuziyet ile ilgili ilk formüllerden biri (Denklem 2.1) Jackson and Shrubbsall'ın çalışmalarında geçmiştir [82, 83]:

$$P = K \sqrt[3]{(I)^4 / S \cdot (E)^2} \quad (2.1)$$

Bu formülde p nüfuziyeti, I akımı, S hızı, E gerilimi ifade etmektedir. K değerinin 0,0010 – 0,0019 aralığında değiştiği ve SAW ile SMAW için daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Robotik GMA kaynağı için de kaynak dikişinin elde edilmesi üzerine Kim [70] tarafından bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Kaynak dikiş geometrisi için gerekli işlem parametrelerinin optimizasyonunda 'Faktöriyel Tasarım Metodu' kullanmıştır. Bu metottaki üç faktör: akım, kaynak gerilimi ve kaynak hızıdır. Bunlar Denklem 2.2'de verilmiştir.

$$Y = b_1(S)^{b_2}(I)^{b_3}(V)^{b_4} \quad (2.2)$$

Denklemden, Y kaynak dikişini (mm), I kaynak akımı (amper), S kaynak hızı (cm/sn), V gerilim (volt) ve b1, b2, b3, b4 eğri katsayılarıdır. Bu denklemin çözümü sonucunda kaynak dikişine ait elde edilen genişlik, yükseklik ve nufuziyet formülleri de Denklem 2.3, Denklem 2.4 ve Denklem 2.5'te verilmiştir.

$$W = \frac{(I)^{0.3432} (V)^{0.6786}}{(S)^{0.4435} (10)^{0.0176}} \quad (2.3)$$

Denklemden, W kaynak dikiş genişliğini (mm), I kaynak akımı (amper), S kaynak hızını (cm/sn), V gerilimi (volt) ifade etmektedir.

$$H = \frac{(I)^{0.5443} (10)^{1.1437}}{(S)^{0.2706} (V)^{1.1102}} \quad (2.4)$$

Denklemden, H kaynak dikiş yüksekliğini (mm), I kaynak akımı (amper), S kaynak hızını (cm/sn), V gerilimi (volt) ifade etmektedir.

$$P = \frac{(I)^{1.5616}}{(S)^{0.4940} (V)^{0.1041} (10)^{2.3835}} \quad (2.5)$$

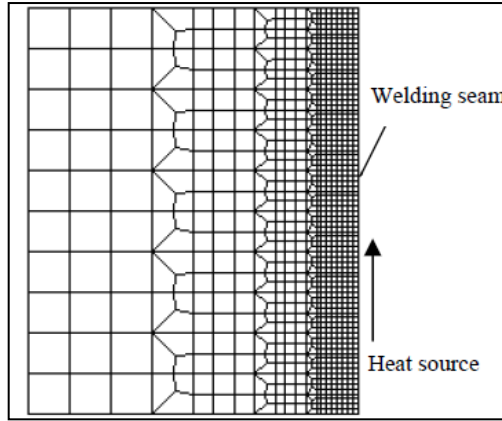
Denklemden, P kaynak nufuziyetini (mm), I kaynak akımı (amper), S kaynak hızını (cm/sn), V gerilimi (volt) ifade etmektedir.

Mavrikos'un 2006 yılındaki çalışmasında [47], MIG/MAG kaynakları dikiş formu için elipsoit şekli kullanılmış ve bu şekiller arka arkaya eklenerek kaynak oluşturulmuştur. Elipsoit temel şeklinin büyüklükleri belirlenirken ilave telden birim zamanda eklenen eriyik metal hacmi kullanılmıştır. Denklem 2.6'daki formül birim zamandaki hacmi göstermektedir.

$$dV/dt = \pi \rho^2 u \quad (2.6)$$

Burada ρ elektrot yarıçapı ve u sabit elektrot besleme hızıdır. Bu denklemden sıcaklık değişkenini hesaba katılmamıştır.

Donglin çalışmasında ANSYS yazılımını incelemiş ve kaynak işlemi ile ilgili üç teknolojidenden bahsetmiştir. Bunlar Meshing Model, Applying Loads ve Handling Molten Pool modelleridir. Meshing Modelde (Şekil 2.3.) ısının düşük olduğu bölgelerde detayın (mesh) düşürülmesi ve yüksek olduğu bölgelerdeki detay sayısının artırılmasıyla matematiksel işlem yoğunluğunu artırmadan gerçeklik izlenimini artırdığı belirtilmiştir. Applying Loads modelinde ısı için Gauss Dağılımı metodu uygulanmış, Handling Molten Pool modelinde ise dolaylı eşleşme (Indirect Coupling) metodundan bahsedilmiş ve her düğüme bir ısı değeri verilmesi önerilmiştir [84].



Şekil 2.3. Mesh modeli [84]

Trivedi tarafından GTA kaynağı giriş/çıkış parametreleri arası ilişki için regresyon analizi gerçekleştirilmiştir [65]. Alüminyum iş parçası üzerine yapılacak otomatik kaynağın giriş parametreleri olarak akım, kaynak hızı ve gaz akış hızı belirlenmiştir. Sonuç olarak da genişlik, yükseklik ve nüfuziyet için Denklem 2.7, Denklem 2.8 ve Denklem 2.9'deki formüller verilmiştir.

$$BH = 1.29 - 0.0428 S + 0.00182 I - 0.00320 F \quad (2.7)$$

$$BP = 10.9 - 0.125 S + 0.00084 I - 0.0472 F \quad (2.8)$$

$$BW = 15.3 - 0.180 S - 0.00780 I + 0.00120 F \quad (2.9)$$

Bu denklemlerde BH: Dikiş yüksekliği (mm), BP: Dikiş nufuziyeti (mm), BW: Dikiş genişliği (mm), S: Kaynak hızı, I: Akım ve F: gaz akış hızıdır.

Benzer şekilde Musthaq tarafından da çelik iş parçası üzerine GTA kaynağı deney düzeneği hazırlanarak giriş/çıkış parametreleri arası bir matematiksel ilişki gösterilmiştir [85]. Çelik iş parçası üzerine yapılacak otomatik kaynağın giriş parametreleri olarak akım, kaynak hızı ve gaz akış hızı belirlenmiştir. Sonuç olarak da genişlik, yükseklik ve nufuziyet için Denklem 2.10, Denklem 2.11 ve Denklem 2.12'deki formüller verilmiştir.

$$W = +5.52 - 0.14 * A + 0.82 * B - 0.28 * C + 0.15 * A * B + 0.31 * A * C - 0.41 * B * C - 0.48 * A^2 + 0.44 * B^2 + 0.21 * C^2 \quad (2.10)$$

$$H = +0.61 - 0.026 * A + 0.16 * B - 0.087 * C - 0.15 * A * B + 0.097 * A * C + 0.073 * B * C - 0.038 * A^2 + 0.037 * B^2 - 0.069 * C^2 \quad (2.11)$$

$$P = +2.66 - 0.086 * A + 0.038 * B - 0.090 * C - 0.17 * A * B - 0.013 * A * C - 0.013 * B * C + 0.062 * A^2 + 0.036 * B^2 - 0.062 * C^2 \quad (2.12)$$

Bu denklemlerde W: Dikiş genişliği (mm), H: Dikiş yüksekliği (mm), P: Dikiş nufuziyeti (mm), A: Kaynak hızı, B: Akım ve C: gaz akış hızıdır.

2.2.2. Yapay sinir ağı ile öngörüler

Doğa olaylarının veya mühendislik problemlerinin bazen anlaşılması güç olması nedeniyle bilim insanları problemlerin kesin çözümleri yerine, yakın çözümleri üzerine de çalışmaktadırlar. Bu noktada yapay sinir ağlarının, sadece gerçek uygulama örneklerini göz önünde bulundurarak olayları öğrenebilmesinden [86] dolayı bu ağlar literatürde kaynak dikiş geometrisi öngörüsünde birçok defa incelenmiştir.

Fast [48] gerçek zamanlı simulatorü için tasarladığı dikiş modelinde yapay sinir ağından faydalanmıştır. White ve arkadaşları [49] da nufuziyet hesabı için yapay sinir ağı kullanmış, Fast'in çalışmasına ısı dağılımını eklemiştir.

Juang 1,6 mm kalınlığında alüminyum iş parçası üzerinde 72 adet TIG kaynak uygulaması yapmış olup her kaynak uygulamasından 5 değer okumuş ve ortalamasını alarak tabloya girmiştir [87]. Sonrasında Juang, TIG kaynağı işleminin modellenmesinde geri-yayımlı (back-propagation) ağ ile counter-propagation ağını karşılaştırmıştır. Giriş katmanı elemanları (nöron) olarak kaynak hızı, tel besleme hızı, temizleme, ark mesafesi ve akımı belirlenmiş, çıkış katmanı elemanları olarak da ön-yükseklik, ön-geişlik, arka-yükseklik ve arka-geişlik verilmiştir. Her iki ağın da başarılı sonuçlar verdiğini bununla birlikte counter-propagation ağının geri yayımlı ağına göre daha iyi öğrenme kabiliyetinin olduğunu ancak geri yayımlı ağın daha iyi genelleme yeteneğinin olduğuna işaret etmiştir.

Chan çalışmasında [68] 96 adet GMAW kaynak uygulamasını incelemiştir. Kaynak uygulamaları yapılırken elektrot çapı 0,9 mm olarak sabit olup, akım 160 - 320 A aralığında, gerilim 20 - 42 V aralığında, kaynak hızı 3,39 - 11,01 mm/s aralığında ve parça kalınlığı da 6,35 - 15,87 mm aralığında tutulmuştur. Oluşan kaynak dikişlerinin genişlik, yükseklik ve nufuziyet değerleri kaydedilmiş ve bu değerlerden rasgele seçilmiş 30 tanesi geri yayımlı ağın eğitimi için, geri kalanlar da test için kullanılmıştır. Ağırlık değerleri -0,5 – 0,5 aralığında rasgele belirlenip transfer fonksiyonu olarak da sigmoid seçilmiştir. İş parçası üzerindeki dikiş görüntüsü için de parabol kullanılmıştır.

Porter da 2006 yılındaki çalışmasında yapay sinir ağı kullanarak kaynak dikişi elde etmiştir [88]. Çok katmanlı yapay sinir ağı modelinde geri yayılım algoritması kullanılan bu çalışma, Chan'in yapay sinir ağı kullanarak yaptığı çalışmanın detaylandırılmış halidir. Sistem, yönlendirme ve kaynak torcu hızı değişkenlerini giriş olarak almakta, sanal gerçeklik teknikleriyle ve yapay sinir ağı kullanarak GMA kaynağını gerçek zamanlı simüle etmektedir. Kaynağın yatay olarak düz hat boyunca çekildiğini varsayar. Sistem, işlem parametrelerini tekrar incelenebilmesi için

kaydetmektedir. Kaynak işlemleri yapılırken elektrot çapı 1,14 mm olup, akım 200 - 260 A aralığında, gerilim 24 - 28 V aralığında, elektrot ilerleme açısı 70° - 110° aralığında ve elektrot salınım açısı da 35° - 55° aralığında tutulmuştur.

Kanti de çalışmasında GMA kaynak dikiş formu öngörüsü için 54 adet GMA kaynak uygulamasının sonuçlarını ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağında kullanmıştır [89]. Giriş elemanları olarak iş parçası kalınlığı, tel besleme hızı, tel besleme hızının kaynak hızına oranı ve akım, çıkış elemanları olarak da nüfuziyet ve dışbükeylik indeksi belirlenmiştir. Burada dışbükeylik indeksi kaynak dikişi yüksekliğinin genişliğine oranıdır. Kaynak uygulamaları yapılırken iş parçası kalınlığı 6, 8, 10 mm, akım 440, 380, 520 A, tel besleme hızının kaynak hızına oranı 15, 20, 25 ve tel besleme hızı da 3,0 – 8,0 m/dk aralığında tutulmuştur. Kaynak uygulamalarından 48 tanesi eğitim için, geri kalan 6 tanesi de test için kullanılmıştır. Kullanılan ağ yapısının doğru sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Xu geri yayılım algoritması kullanarak kaynak dikişinin genişlik ve yüksekliğinin tahmini ile ilgili yaptığı çalışmasında [90], TIG kaynağı uygulamalarından elde ettiği sonuçları kullanmıştır. Giriş parametreleri olarak akım, kaynak hızı ve tel besleme hızı alınmış, çıktı olarak da genişlik ve yükseklik belirlenmiştir. Tasarlanan sistem tam ters olarak da kullanılmıştır. Yani genişlik ve yükseklik değerleri girdi olarak belirlenip akım, kaynak hızı ve tel besleme hızı da çıktı olarak alınmıştır. Gizli (ara) katman sayısının hesabı için Denklem 2.13 kullanılmıştır.

$$n_{hid} = (n_{in} + n_{out})^{\frac{1}{2}} + a \quad (2.13)$$

Bu formülde n_{hid} ara katman sayısını, n_{in} giriş sayısını, n_{out} çıkış sayısını ve a değişkeni de 1 - 10 aralığında bir sayıyı temsil etmektedir. Çalışmada ara katman sayısı 9 - 12 olarak ayarlanmış, ara katman nöron fonksiyonu olarak ‘tansig’, çıktı katması nöron transfer fonksiyonu olarak ‘purelin’ ve eğitim fonksiyonu olarak da ‘trainlm’ kullanılmıştır. İterasyon sayısının 2000 ve öğrenme katsayısının da 0,03 olarak ayarlandığında tahmin sonuçlarının başarılı olduğu belirtilmiştir.

Dey paslanmaz çelik üzerine 17 farklı kombinasyon ile kaynak dikişi çekerek yaptığı çalışmada akım, gerilim ve hız değerlerini değiştirerek bu parametrelerin kaynak genişliği ve nufuziyeti nasıl etkilediğini incelemiştir. Dey dikiş geometrisini belirlerken üç adet eğri kullanmış ve bu eğrilerin başlangıç-bitiş noktalarını kaydetmiştir. Kurmuş olduğu yapay sinir ağının giriş katmanında 3 nöron, ara katmanında 30 nöron ve çıkış katmanında 6 nöron kullanmıştır. Geri yayılım algoritması ve genetik algoritma ile yapılan öngörülerini kıyaslamış ve geri yayımlı ağın diğerine nispeten daha iyi sonuç verdiğini söylemiştir [91].

Dhas tozaltı kaynağı dikişlerinin kalite tahmini için yaptığı çalışmada, kaynak dikişinin genişlik tahmini için geri yayılım algoritmalı sinir ağı tasarlamıştır [92]. Akım, gerilim, hız ve serbest elektrot uzunluğu giriş katmanının nöronları olarak belirlenmiştir. Deneme-yanılma yöntemiyle iki ara katman düşünülmüş ve birinci ara katman 12 nöron, ikinci ara katman 9 nöron içermiştir. Eğitim için 51, test için de 5 örnek kullanılmıştır. Öğrenme fonksiyonu meyilli azalım (gradient descent) algoritmasıdır. Öğrenme katsayısının 0,55 ve iterasyon sayısının 10000 olarak ayarlandığında hatanın 0,001'in altına indiği belirtilmiştir.

Nagesh ve Datta, Juang'ın TIG kaynağı dikiş verileri [87] ile çalışmışlardır. Kaynak dikiş geometrisi bileşenlerinin öngörüsü için geri yayımlı yapay sinir ağında, deneme-yanılma ile belirlenen ilk ara katmanda 5 nöron ve ikinci ara katmanda 4 nöron kullanılmıştır. Giriş katmanı nöronları olarak kaynak hızı, tel besleme hızı, temizleme oranı, kaynak akımı ve ark mesafesi belirlenmiş, çıkış katmanı nöronları olarak da ön-yükseklik, ön-genişlik, arka-yükseklik ve arka-genişlik verilmiştir. Öğrenme katsayısı 0,02 olarak ayarlanmış ve ağ 11000 iterasyon ile eğitilmiştir. Çalışmada işlem parametrelerinin optimizasyonu için genetik algoritma kullanılmış, lineer regresyon tekniğiyle de sonuç parametrelerinin her biri için bir formül oluşturulmuş ve bu formülün tam sonuç verdiği belirtilmiştir [93].

2,5 mm ve 3,2 mm kalınlığındaki elektrotlarla 40 adet ark kaynağı uygulaması yapan Al-Faruk [94] kullanmış olduğu geri yayımlı ağının giriş katmanında 5, birinci ara katmanında 9, ikinci ara katmanında 6 ve çıkış katmanında 3 nöron kullanmıştır.

Çalışmada, giriş parametreleri olarak akım, gerilim, elektrot yarıçapı, kaynak hızı ve elektrot besleme hızı; çıkış parametreleri olarak da genişlik, yükseklik ve nufuziyet belirlenmiştir. Ağ bu 40 örnek ve 1000 iterasyon ile eğitilerek çıkışlar elde edilmiş, iterasyon sayısının artırılması sonuçta iyileştirme sağlamamıştır.

Yang ve arkadaşları 2010 yılı çalışmalarında, etkileşimli kaynak eğitimini destekleyen bir sanal kaynak simülatör prototipi geliştirmişlerdir [95]. Çeşitli çalışma koşullarına uygun kaynak dikiş şekli veritabanı oluşturularak, kullanıcının değişik giriş verilerine göre kaynak dikiş görüntüsüne karar veren bir yapay sinir ağı kullanılmıştır. Ark mesafesi, kaynak hızı ve torç açısı da en önemli giriş parametreleri olarak belirlenmiştir.

Iqbal de çalışmasında Juang'ın TIG dikiş geometrisini [87] esas alıp 3 mm kalınlığındaki iki çelik iş parçası arasına 1 mm boşluk bırakıp 17 adet TIG kaynak uygulaması yapmıştır. Iqbal kaynak akımı, gerilim, hız ve koruyucu gaz akış oranı değerlerini değiştirilerek yaptığı uygulamalarda oluşan kaynak dikişinin ön-yükseklik, ön-genişlik, arka-yükseklik ve arka-genişlik değerlerini kaydetmiştir. Iqbal, kurmuş olduğu geri-yayımlı yapay sinir ağında iki ara katman kurmuş, en iyi sonucu birinci ara katmanda 14 nöron ve ikinci ara katmanda 12 nöron olduğunda almıştır. Ağın eğitimi için trainrp (resilient back propagation) kullanılmış ve bu fonksiyonun dik iniş (steepest descent) algoritmasından daha hızlı sonuç verdiği belirtilmiştir. Ara katmanlarda transfer fonksiyonu olarak da logaritmik sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır [96].

Sreeraj çalışmasında MIG kaynağı dikiş geometrisi öngörüsü için regresyon analizi ve yapay sinir ağı modellerini kullanmıştır [97]. Kaynak sırasında iş parçası üzerinde oluşan ve iş parçası içine nüfuz eden kaynak dolgu alanlarının oranı nufuziyet yüzdesi olarak adlandırılmış ve kurulan sinir ağı modelinde genişlik, yükseklik ve nufuziyet mesafesi ile birlikte çıkış katmanı nöronlarından biri olarak düşünülmüştür. Giriş katmanındaki 5 nöron ise akım, hız, ark mesafesi, torç açısı ve büzülme (pinch) olarak belirlenmiştir. Tek ara katmanda 12 nöron kullanılıp Levenbery-Marguent yakınsama algoritması uygulanmıştır. Ağın eğitimi için 17 adet kaynak uygulaması

verisi ve test için de 11 adet kaynak uygulama verisi kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak logsig, eğitim fonksiyonu olarak traingdm, öğrenme fonksiyonu olarak traingdx ve performans fonksiyonu olarak da MSE (mean-squared error) uygulanmıştır.

Yapay sinir ağının değişik kaynak teknolojilerindeki rolünü inceleyen Kumar literatürde dikiş geometri öngörüsü için yapay sinir ağlarının başarılı sonuçlar verdiğini belirtmiş ve lazer kaynak yönteminde sinir ağı öngörülerine atıfta bulunmuştur [98].

Sudhakaran [99], çalışmasında ark mesafesini 2,5 mm olarak sabit tutarak 100 mm x 30 mm x 5 mm boyutlarındaki çelik iş parçası üzerine kaynak akımı, kaynak hızı, torç açısı ve gaz akış hızı sabit tutularak 125 adet TIG kaynak denemesi yaparak kaynağın nufuziyet değerlerini incelemiştir. Bu deneme verileri kullanılarak oluşturulan geri-yayımlı yapay sinir ağında eğitim algoritması olarak Levenberg Marquardt fonksiyonu kullanılmış, giriş katmanında 4, gizli katmanda 15 ve çıkış katmanında 1 nöron kullanarak 217 iterasyonla en iyi nufuziyet tahmininde bulunmuştur. Aynı çalışmada kaynak akımı, kaynak hızı, torç açısı ve gaz akış hızı parametrelerinin nufuziyet üzerine etkileri de değerlendirilmiştir.

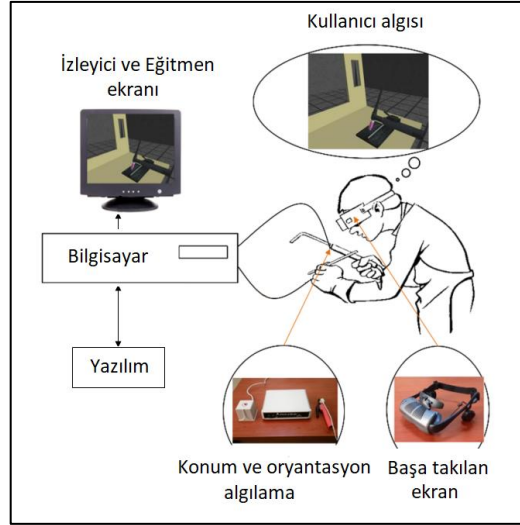
Chandrasekhar, kaynak havuzunun infra-red termal görüntüleri kullanarak kaynak dikişi genişliğini ve nufuziyet miktarını hesaplayan akıllı hibrit bir model önermiştir [100]. 6 mm kalınlığında 300x250mm boyutunda çelik bir iş parçası üzerine çekilen TIG kaynağı görüntülerini gerçek zamanlı olarak kaydetmiş, hüresel otomata görüntü işleme algoritmasıyla görüntü bölümlenme yaparak sıcaklık noktaları belirlemiştir. Bulanık mantık ve yapay sinir ağı temelli hibrit model için termal görüntüler giriş olarak, oluşan kaynak dikişinin genişlik ve nufuziyet değerleri de çıktı olarak tasarlanmıştır. Kaynak dikiş genişliği ve nufuziyet öngörüsü için tasarlanan ileri beslemeli geri yayımlı iki ayrı ağında giriş katmanında 4 nöron, gizli katmanında 6 nöron bulunmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu olarak tan-sigmoidal, eğitim algoritması olarak da Levenberg Marquardt fonksiyonu kullanılmış olup 2500 epoch ile 0.001 hata belirlenmiştir. 90 adet veriden 70 tanesi eğitim için diğerleri de

doğrulama ve test için kullanılmıştır. Ölçülen değerler ve bu modelle yapılan tahmini değerler arasında tutarlık bulunmuştur.

BÖLÜM 3. GELİŞTİRİLEN SANAL KAYNAK SİMÜLATÖRÜ

Sanal kaynak simülatörü, kaynak işlemi sırasında kullanılan kaynak elemanlarının ve birleştirilecek parçaların üç boyutlu sanal bir dünyada oluşturulduğu ve kullanıcının eline tutturulan konum ve oryantasyon sensörleri ile etkileşimin sağlandığı gerçek zamanlı bir benzetim sistemidir. Bu sistemde; kullanıcı, başa takılan stereo ekran sayesinde dış dünyadan ilişkisini kesip sadece sanal dünyayı görebilmektedir. Simülatörlü kaynak eğitimi gerçek bir kaynak kabini olmadan, elektrot çubuklarını ve iş-parçalarını kullanmadan yapılır. Simülatör, kaynak uygulamalarında çok önemli olan el-kol-göz koordinasyon becerilerini kazandırmak için kullanılır.

Tasarlanan sanal kaynak simülatörü yazılım ve donanım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Donanım birimleri, simülatörün üzerinde koşulduğu bilgisayar, konum-oryantasyon bilgilerini veren sensörler, görüntüyü kullanıcıya sunan HMD (Head Mounted Device / başa takılan ekran) ve monitördür. Sanal kaynak simülatörü donanımını yönetecek olan yazılım, C++ programlama dili ve OpenGL (Open Graphics Library) grafik kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiştir. Yazılım birimleri; motor çekirdeği, grafik motoru, girdi/çıkı kontrol ünitesi, ses motoru ve kaynak dikişi sorgu ünitesidir. Oluşturulan sanal kaynak simülatörünün genel yapısı Şekil 3.1.'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Sanal kaynak simülâtörü yapısı

Tasarlanıp geliştirilen sanal kaynak simülâtörü kullanılarak 3-boyutlu kaynak uygulamaları gerçeğine benzer şekilde sanal bir ortamda etkileşimli olarak yapılabilmektedir. Etkileşim esnasında, başa takılan ekran görüş alanını belirlerken, Flock of Birds sensörü de torca ait parametre değerlerini verir. Sistemin çalışma prensibi şu şekildedir: simülâtör açıldığı zaman, kullanıcı tarafından giriş parametreleri (Kaynak yöntemi, malzeme türü, parça boyutları) belirlenir. Geliştirilen yazılım modülü ilgili parametrelere karşılık kaynak dikişi boyutlarını belirler. Kullanıcı, torcu ideal ark mesafesine getirdiğinde, ark otomatik olarak oluşur ve kaynak dikişleri belirerek kaynak dolgusu oluşmaya başlar. Çevrim boyunca, ideal ark boyu korunduğu sürece devamlı olarak kaynak banyosu oluşur. Sensörler, elektrot ucunun pozisyonunu ve elektrot açısını yakalamaya devam eder. Çevrimden çıkıldığında, yapılan kaynak işlemi sonucu oluşan kaynak dolgusu, farklı açılardan incelenip değerlendirilebilir. İsteğe göre kullanıcılar veya kaynakçı adayları defalarca uygulama da yapabilirler.

3.1. Donanım

3.1.1. Flock of birds konum algılayıcısı

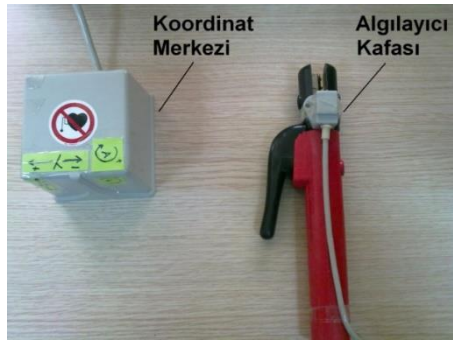
Flock of Birds bir tür sensör sistemi olup kaynak simülâtöründe torç hareketlerinin algılanmasında kullanılmaktadır (Şekil 3.2.). Cihazda, 6 DOF'a (degree of freedom-

serbestlik derecesi) sahip konum sensörü bulunmaktadır. Sensörler sayesinde, torcun konumunda meydana gelen değişiklikler algılandığı gibi torcun oryantasyonunda meydana gelen değişiklikler de algılanabilmektedir. Flock of Birds sensörü, 120 cm yarıçaplı dairesel bir alanda ölçüm yapabilmekte ve saniyede 144 veri almaktadır. Ancak, sanal kaynak simülatörü yazılımı, saniyede 60 çerçeve gösterdiğinden Flock of Birds'ten de 60 ölçüm verisi alınmaktadır. Cihaz $\pm 180^\circ$ sağ-sol dönme açısı ve $\pm 90^\circ$ aşağı yukarı dönme açısı algılayabilmektedir.



Şekil 3.2. Flock of Birds konum sensörü

Şekil 3.3.'de Flock of Birds algılayıcısı görülmektedir. Bu algılayıcının yaptığı her hareket sensör tarafından algılanıp bilgisayara aktarılmaktadır. Flock of Birds sisteminin düzgün çalışabilmesi için referans noktasına ihtiyacı vardır. Bu referans noktası, koordinat merkezi olarak isimlendirilmekte ve Şekil 3.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Flock of Birds koordinat merkezi ve algılayıcı kafa

Flock of Birds cihazının çalıştırılabilmesi için cihaz ile beraber gelen kütüphanelerin geliştirilen yazılıma eklenmesi gerekmektedir. Bu dosyalardan ilki bird.h dosyası

olup cihaz için gerekli olan yapılar ve fonksiyon prototipleri bu kütüphane içinde bulunmaktadır. Diğer bir dosya olan bird.dll içerisinde de prototipleri bird.h içerisinde bulunan fonksiyonların gövdeleri bulunmaktadır. Bu iki dosya arasındaki bağlantıyı sağlamak için bird.lib statik kütüphanesi kullanılmaktadır. Sanal kaynak simülörünün çalışabilmesi için bird.dll kütüphanesi Windows işletim sisteminin sistem dosyaları içerisine kopyalanması veya simülör programıyla aynı klasör içerisinde bulunması gerekmektedir.

3.1.1.1. Cihazın çalıştırılması

Flock of Birds cihazının kullanılabilmesi için kod içerisine öncelikle bird.h başlık kütüphanesinin eklenmesi gerekir. Flock of Birds'den veri alınabilmesi için de cihazın uyandırılması gerekmektedir. Cihaz ile bağlantı RS-232 portu üzerinden yapıldığından uyandırma fonksiyonu olarak birdRS232WakeUp kullanılmaktadır. Bu fonksiyonun prototipi ve Şekil 3.4.'de gösterilmektedir.

```

BOOL birdRS232WakeUp(    int        nGroupID,
                        BOOL        bStandAlone,
                        int         nNumDevices,
                        WORD        *pwAddress,
                        DWORD       dwBaudRate,
                        DWORD       dwReadTimeout,
                        DWORD       dwWriteTimeout,
                        int         nGroupMode=1);

```

Şekil 3.4. birdRS232WakeUp() fonksiyonu prototipi

nGroupID: Bu parametre uyandırılan Flock of Birds'ün hangi gruba ait olduğunu belirtir. 0 ile BIRD_MAX_GROUP_ID sabiti arasında bir değer alabilmektedir. Sanal kaynak simülöründe bu değer 1 olarak seçilmiştir.

bStandAlone: Bu parametre grubun birden fazla Flock of Birds'den oluşup oluşmadığını belirlemektedir. Sanal kaynak simülöründe bu parametreye FALSE değeri girilmiştir.

nNumDevices: Grup içerisindeki Flock of Birds sayısını belirtmektedir. İkinci parametre sanal kaynak simülatöründe FALSE olarak belirtildiğinden grup içerisinde tek bir Flock of Birds olacağı anlamına gelmektedir.

pwAddress: Flock of Birds'ün bağlı olduğu bilgisayardaki RS-232 portu bu parametre içerisine girilmektedir. pwAddress parametresinin işaretçi olmasının sebebi grup içerisinde birden fazla Flock of Birds olma ihtimalinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda her bir Flock of Birds'ün bağlandığı RS-232 portu farklı olacaktır ve port adreslerinin bir dizi şeklinde verilmesi gerekecektir. Tek bir port olduğunda ise dizinin ilk elemanı ilk port adresini belirtir.

dwBaudRate: Bu parametre Flock of Birds ile iletişimdeyken saniyede alınacak sembol sayısını belirtir. Sanal kaynak simülatöründe bu parametre için 115200 değeri kullanılmıştır.

dwReadTimeout: Bu parametre Flock of Birds'ü kullanan uygulamanın, bir karakteri almak için maksimum bekleyeceği süreyi milisaniye olarak belirtmektedir. Sanal kaynak simülatöründe bu parametre için 2000 değeri kullanılmaktadır. Değer düşürüldüğünde Flock of Birds'den aşırı yüklenilmesinden dolayı zaman zaman problemlerle karşılaşmaktadır.

dwWriteTimeout: Bu parametre Flock of Bird'ü kullanan uygulamanın bir karakteri göndermek için maksimum bekleyeceği süreyi milisaniye olarak belirtmektedir. Sanal kaynak simülatöründe bu parametre için 2000 değeri kullanılmıştır.

nGroupMode=1: Veri alışverişinin grup modunda yapılıp yapılmayacağını belirtir. Sanal kaynak simülatöründe bu parametrede GMS_GROUP_MODE_NEVER sabiti kullanılmıştır. Bu değer veri alışverişinin grup modunda yapılmayacağını belirtir. Eğer fonksiyonun dönüş değeri FALSE(0) ise Flock of Birds uyandırılmamıştır. Bu durumda sanal kaynak simülatörü bir hata mesajı vererek kullanıcıyı uarmaktadır. Fonksiyon TRUE(1) değeri döndüğünde sanal kaynak simülatörü çalışmaktadır. Uyandırılan Flock of Birds'ün özelliklerini değiştirebilmek için o anki çalışma

özelliklerinin alınması gerekir. Bunun için prototipi Şekil 3.5.'te verilen `birdGetSystemConfig` fonksiyonu kullanılır.

```
birdGetSystemConfig(  int          nGroupID,
                     BIRDSYSTEMCONFIG *psyscfg,
                     BOOL          bGetDriverCopy);
```

Şekil 3.5. `birdGetSystemConfig()` fonksiyonu prototipi

`nGroupID`: Konfigürasyon bilgisi getirecek olan Flock of Birds'ün ID değerini belirtir.

`psyscfg`: Getirilen sistem bilgileri `BIRDSYSTEMCONFIG` yapısı türünde olan bu parametre içerisine yazılır.

`bGetDriverCopy`: Bu fonksiyonun tekrardan çağırılması durumunda daha hızlı cevap verebilmek için sistem bilgileri yedeğinin hafızada belirli bir noktaya alınıp alınmayacağına karar verir.

`BIRDSYSTEMCONFIG` yapısının sanal kaynak simülatörü için önemli olan kısmı `bySystemStatus` değişkenidir. Bu değişken kullanılarak Flock of Birds'ün doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilebilmektedir. Eğer bu değişken içerisinde `BSS_RUNNING` sabiti bulunuyorsa Flock of Birds doğru olarak çalışmaktadır. Aksi durumlarda Şekil 3.6.'daki kod parçası devreye girerek sistemi tekrardan başlatmaktadır.

```
if(psyscfg.bySystemStatus &&BSS_RUNNING == false)
{
    //Hata Mesajını Mesaj dosyasına yaz
    //Bird'ü kapat
    //Bird'ü tekrardan açmaya çalış
}
```

Şekil 3.6. Flock of Birds sensörünün çalışma kontrolü

Flock of Birds üzerinde yapılan herhangi bir işlemde hata oluşması durumunda `birdGetErrorMessage()` fonksiyonu kullanılarak oluşan hata hakkında bilgi sahibi

olunabilmektedir. Dönüş değeri oluşan hata hakkında bilgi veren bir karakter dizisinin başlangıç adresi olmaktadır.

3.1.1.2. Veri alışverişi

Flock of Birds cihazından argümanların alınması Girdi/Çıktı Kontrol Ünitesi isimli birimin görevidir. Veri alış-verişinin başlatılabilmesi için `birdStartFrameStream()` fonksiyonunun çağrılması gerekmektedir. Bu fonksiyon tek parametre almaktadır. Bu parametre veri akışının başlatılacağı Flock of Birds grubunun kimlik değerini belirtir. Dönüş değeri TRUE ise veri akışı başlatılmıştır.

Flock of Birds'de bir veri çerçevesinin oluşup oluşmadığını kontrol edebilmek için `birdFrameReady()` fonksiyonu kullanılır. Fonksiyona, parametre olarak, kontrol edilecek olan Flock of Birds grubunun kimlik numarası girilir. Eğer fonksiyonun dönüş değeri TRUE ise Flock of Birds'de bekleyen bir veri çerçevesinin bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu çerçevenin okunabilmesi için `birdGetMostRecentFrame()` fonksiyonu kullanılır. Bu fonksiyonun ilk parametresi, kullanılan Flock of Birds grubunun kimlik değeri iken, ikinci parametreye, okunan verilerin saklanacağı yapının başlangıç adresi girilir. Bu yapının prototipi Şekil 3.7.'deki gibidir.

```
typedef struct tagBIRDFRAME
{
    DWORD          dwTime;
    BIRDREADING    reading[ ];
}BIRDFRAME;
```

Şekil 3.7. Flock of Birds ile okunan verilerin saklanacağı birdframe yapısı

`dwTime`: Çerçevenin alındığı zamanı belirtmektedir.

`reading[]`: Okunan verileri tutmaktadır. Bu parametre bir dizi olarak saklanmaktadır. Sanal kaynak simülatöründe tek bir Flock of Birds kullanıldığından, dizinin ilk elemanını kullanılacaktır. `Reading[]` parametresi `BIRDREADING` yapısı türünden bir değişkendir. Bu yapının prototipi Şekil 3.8.'deki gibidir.

```
typedef struct tagBIRDREADING
{
    BIRDPOSITION      position;
    BIRDANGLES        angles;
    BIRDMATRIX        matrix;
    BIRDQUATERNION    quaternion;
    WORD              wButtons;
} BIRDREADING;
```

Şekil 3.8. Flock of Birds ile verileri okuyan birdreading yapısı

Sanal kaynak simülatöründe bu yapının ilk iki değişkeni kullanılmaktadır. Bunlardan position Flock of Birds'ün algılayıcısının bulunduğu koordinatı belirtmektenken angles değişkeni açılarını tutmaktadır.

Flock of Birds'ten veri okuma işlemi, grafik motorunun, her bir resim çerçevesi oluşturulmasından önce bir kez yapılmalıdır. Bu sayede saniyede 60 defa veri okunabilmektedir. Her okunan verinin ardından sahne tekrardan çizilmektedir. Şekil 3.9.'da Flock of Birds'ten tek bir çerçeve okumak için yazılması gereken kod bloğu verilmiştir. Alınan pozisyon bilgileri inç birimine çevrilirken açılar da dereceye çevrilmektedir.

```
BIRDREADING *birdData;
if(birdFrameReady(GROUP_ID))
{
    GetRecentFrame(GROUP_ID, &frame);
    birdData = &frame.read[0];
    pos[0] = birdData->position.X * 36 / 32767.;
    pos[1] = birdData->position.Y * 36 / 32767.;
    pos[2] = birdData->position.Z * 36 / 32767.;
    ang[0] = birdData->angle.Azimuth * 180. / 32767.;
    ang[1] = birdData->angle.Elevation * 180. / 32767.;
    ang[2] = birdData->angle.Roll * 180. / 32767.; }
```

Şekil 3.9. Flock of Birds'ten tek bir çerçeve okumak için gerekli kod bloğu

3.1.2. Başa takılan ekran

Standart monitörler sanal ortamdaki gerçeklik hissini ve etkileşimi tam olarak verememektedirler. Bu noktada başa takılan ekranlar iyi bir çözümdür. Başa takılan ekran içerisinde 2 farklı monitör bulunmaktadır. Bunlardan biri sağ göz için, diğeri

de sol göz içindir. Kullanıcı ekrana bu şekilde baktığında 3-boyut hissi uyanmaktadır. Bu nedenden dolayı sanal kaynak simülatorünü kullanacak olan kişi, sanal sahneyi başa takılan ekran ile görecektir. Cihazdan görüntülerin net alınabilmesi için başa düzgün bir şekilde (uygun açı) yerleştirilmesi gerekmektedir. Cihaz üzerinde bulunan algılayıcı sayesinde başın hareketleri tespit edilebilmektedir. Baş hareketlerinden alınan yön verileri ile sanal kamera hareket ettirilmektedir. Kullanıcı başını herhangi bir yöne çevirdiğinde kamerada kullanıcı ile birlikte dönmektedir. Bu sayede kullanıcıya kendisinin sahne içerisindeymiş hissi verilmektedir. Simülatorde kullanılan başa takılan ekran Şekil 3.10.'da görülmektedir.



Şekil 3.10. Başa takılan ekran

Flock of Birds sensörü ve başa takılan ekran birlikte simülator sisteminin giriş/çıkış birimlerini oluşturmaktadırlar.

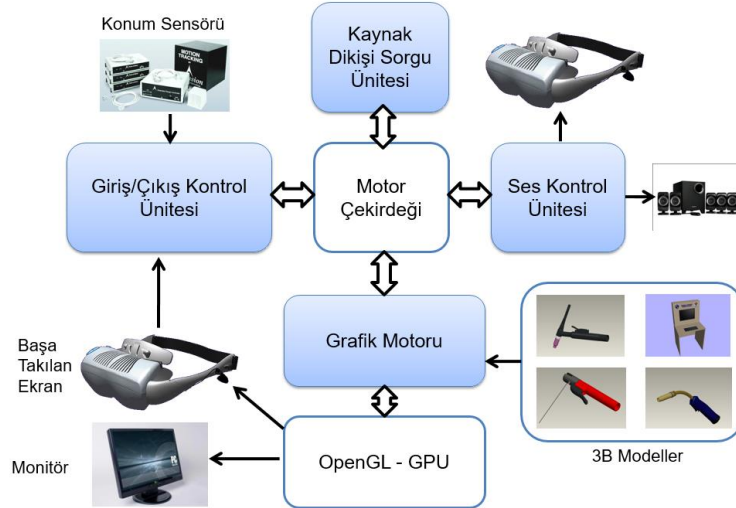
3.1.3. Bilgisayar

Bu çalışmada donanımın bağlandığı ve yazılımın çalıştırıldığı bilgisayar 8 GB hafızaya, Intel i7 5700HQ 2.7 GHz işlemciye ve 2 GB Nvidia Quadro FX4400 grafik kartına sahiptir. Bu makine üzerinde 64 bit Windows7 veya Windows10 işletim sistemleri yüklenerek çalışmalar yapılmıştır.

3.2. Yazılım

Sanal kaynak simülatorü sisteminin yazılımı, C++ platformunda nesneye dayalı programlama tekniği kullanılarak geliştirilmiş olup, sanal sahne ve kaynak dikişini

içeren grafik yazılımı OpenGL grafik kütüphanesi kullanılarak yazılmıştır. Geliştirilen bu yazılımın çalışma prensibi Şekil 3.11.'de görülmektedir.



Şekil 3.11. Simülâtör yazılımı çalışma prensibi

Sanal kaynak simülâtörünün tasarlanıp geliştirilen yazılım kısmı aslında bir oyun motorudur. Bu motor; motor çekirdeği, grafik motoru, giriş/çıkış kontrol ünitesi, ses kontrol ünitesi ve kaynak dikişi sorgu ünitesi olmak üzere beş farklı modülden oluşmaktadır.

3.2.1. Motor çekirdeği

Motor çekirdeği, kaynak simülâtörünün yönetimini ve diğer birimler arasındaki iletişimi sağlayan yazılım modülüdür. Sanal kaynak simülâtörünün bütün birimlerini birbirine bağlayan bir gövde görevi görmektedir. Bu birim, giriş/çıkış kontrol biriminden aldığı verileri kaynak dikişi sorgu ünitesine yollayarak bu değerlere karşılık gelecek olan kaynak dikiş boyutlarını grafik motoruna aktarırken, grafik motorundan aldığı kaynak ses bilgilerini de ses kontrol ünitesine iletmektedir.

3.2.2. Giriş/Çıkış kontrol ünitesi

Bu birim, Bölüm 3.1.1. ve Bölüm 3.1.2.'de anlatılan konum ve oryantasyon sensörlerini dinleyen birimdir. Kaynak dolgusunun oluşabilmesi için bu birimden

gelen parametre değerleri büyük önem taşımaktadır. Giriş/çıkış kontrol ünitesi, başa takılan ekran üzerinde bulunan sensör sayesinde, başın hareketlerini tespit etmekte ve bu sayede yön verileri ile sanal kamera hareket ettirilmektedir. Bu ünite flock of birds sensör sistemi ile de torç hareketlerinin algılayarak dolguya eklenecek kaynak dikişlerinin boyutlarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

3.2.3. Ses kontrol ünitesi

Bu modülünün görevi kullanıcının işlemlerine bağlı olarak gereken seslerin üretilmesi ve bunların kullanıcıya ve izleyicilere aktarılmasıdır. Bu modülün ses üretebilmesi için motor çekirdeğinden komut alması gerekmektedir. Gerçek kaynak uygulaması sırasında motor çekirdeğine giriş/çıkış kontrol ünitesinden gelen ark mesafesi, kaynak tipi gibi parametrelere bağlı olarak alınan ses kayıtlarının simülasyon sırasında kullanıcıya etkileşimi tamamlayacak şekilde sunulmaktadır.

3.2.4. Grafik motoru

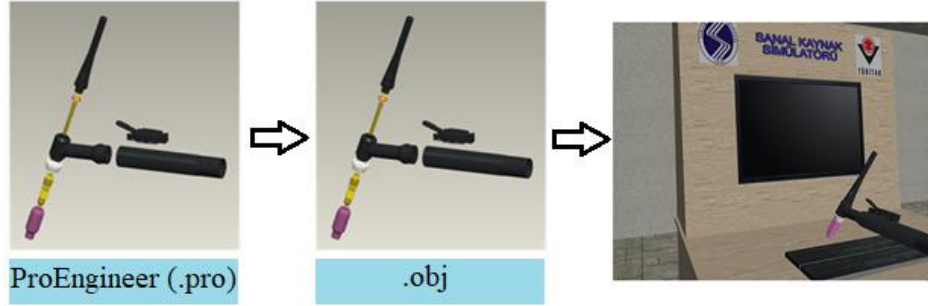
Grafik motoru, simülatörün bütün çizim işlemleriyle ilgilenen kısmıdır. Bu modül aşığıdaki alt kısımlardan oluşmaktadır:

- 3-B model yönetim birimi
- Katı model üretim modülü
- Sahne yönetim modülü
- Kaplama yönetim birimi
- Işık yönetim birimi
- Kamera yönetim birimi

3.2.4.1. 3B model yönetim birimi

Bu modülün görevi daha önce Pro-Engineer programıyla çizilen sanal modellerin simülatöre yüklenmesi ve gerektiğinde çizim modülüne aktarılmasını sağlamaktır. Bu modülün sanal modelleri yükleyebilmesi için üç boyutlu modellere ait verilerin .obj formatındaki dosyalardan okunması gerekmektedir. Modeller Pro-Engineer

programında çizildiğinden öncelikle çevirici bir program kullanılarak modeller .obj dosya formatında saklanacak şekle dönüştürülür. Dönüşüm işlemi Şekil 3.12.'de temsil edilmektedir. Bu modeller .obj dosya formatına çevrildikten sonra sanal model yönetim birimi sayesinde simülatöre eklenebilmektedir.



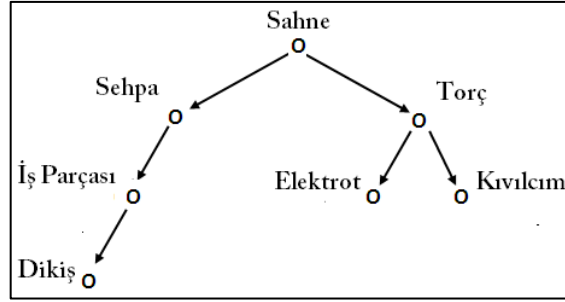
Şekil 3.12. Dönüşüm işlemi

3.2.4.2. Katı model üretim modülü

Bu modelin görevi simülatör içerisinde gerek duyulan sanal modellerin programın çalışması anında (dinamik olarak) üretilmesini sağlamaktır. Bunlar kaynak dikiş formu ve elektrot modelleridir. Giriş/çıkış kontrol biriminden motor çekirdeğine gelen ark mesafesi, kaynak hızı, kaynak açısı verileri kaynak dikiş sorgu ünitesine yollandığında bu değerlere karşılık gelecek olan kaynak dikiş boyutları yine motor çekirdeği tarafından grafik motorunun bu modülüne aktarılarak kaynak dikiş oluşturur. Kaynak dikişinin nasıl oluşturulacağı bir sonraki ünite de detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

3.2.4.3. Sahne yönetim birimi

Sanal kaynak simülatöründeki bütün şekiller Şekil 3.13.'deki ağaç hiyerarşisine sahip bir yapı içerisinde tutulmaktadır. Bu yapıya sahne yönetim modülü adı verilmiştir. Simülatörde çizilecek olan her model öncelikle bu hiyerarşiye eklenmektedir. Böyle bir hiyerarşinin sağlanabilmesi için modelleri yöneten sınıflar arasında bir ilişki olması gerekmektedir. Kaynak simülatöründe çizilecek tüm şekil sınıfları aynı ebeveyn sınıftan kalıtım alarak bu ilişki sağlanmaktadır. Bu sınıftan kalıtım alan bütün şekiller hiyerarşide bir düğüme bağlanabilirler.



Şekil 3.13. Sahne yönetim modülü ağaç hiyerarşisi

Oluşan hiyerarşi sayesinde ebeveynden gönderilen mesajlar bütün çocuklara iletebilmektedir. Örneğin kaynak masası (sehpa) iş parçasının ebeveyni olmaktadır. Eğer kaynak masası hareket ettirilirse çocukları da onunla birlikte hareket edeceğinden iş parçası da hareket edecektir. Aynı şekilde kök düğümünden gönderilen mesajlar sahnedeki bütün çocukları da etkileyebilecektir. Bu sayede tek bir komutla sahnedeki tüm modeller birlikte hareket ettirilebilecektir. Ayrıca çarpışma testlerinde sahneye ait bütün şekillerin kontrol edilebilmesi için de vazgeçilmez bir yapıdır.

3.2.4.3.1. Çizim birimi

Çizim birimi, sahne yönetim modülünden aldığı komut ve bilgilere göre 3-boyutlu modelleri çizdiren birimdir. Çizim için gerekli olan bilgileri sahne yönetim biriminden almaktadır. Bu modül çizim için OpenGL grafik kütüphanesini kullanır. Işık, kaplama ve OpenGL ile bağlantılı her türlü çizim işlemini yaptıran modüldür.

Bu modülün en önemli görevi çizim işlemleri yapılırken sistem yoluna düşüşleri azaltmaktır. Çizim verileri ekran kartı hafızasında iken çok daha hızlı çizdirilebilmektedirler. Fakat bu veriler sistem hafızasında ise çizilmeden önce ekran kartına yollanmalıdır. Sistem yolu üzerinde yoğun veri akışı çizim işlemini yavaşlatmaktadır. Çizim modülü benzer özelliklere sahip olan şekilleri (kaplama) art arda çizdirerek sistem veri yoluna düşüşü minimuma indirir. Bu sayede çizimler çok daha hızlı gerçekleşmektedir.

3.2.4.3.2. Mesaj birimi

Mesaj birimi düğümler arasında mesajların taşınması ve işletilmesini sağlamaktadır. Mesaj ileten düğümden hedef düğüme ulaşana kadar hiyerarşiyi dolaşmaktadır. Hedef düğüm mesajı aldığı anda 'mesajı aldı' iletisini mesajı ileten düğüme ulaşması için hiyerarşiye bırakır. Bu mesajda hedefine ulaşana kadar düğümden düğüme hareket eder.

3.2.4.4. Kaplama yönetim birimi

Kaplama, üçgenlerden oluşan çizimler üzerine gerçek resimlerin giydirilmesi işlemidir. 3B uygulamalarda önemli ve tamamlayıcı bir bileşendir. Kaplamaların kullanılabilmesi için öncelikle sabit diskten okunup hafızaya yerleştirilmesi gerekir. Günümüz grafik uygulamalarında yüksek çözünürlüklü kaplamalar kullanıldığı düşünülürse bu kaplamaların hafızada nasıl saklanacağını bilmek ve kontrol etmek çok önemlidir. Kaplamalar lineer renk bilgilerinden ibarettir. Renkler 32 bitlik doğal sayı değişkenlerinden oluşurlar. Buna göre kaplama renk bilgileri hafızaya statik bir dizi gibi yerleştirilecektir. Yani doğrusal olarak sıralanmış baytlardan oluşacaktır. Örneğin 1024x1024 boyutlarında 32 bitlik bir kaplamanın hafızada kaplayacağı alan 1024x1024x4 bayt olacaktır.

Kaplama yönetim biriminin görevi tüm sanal modellerde kullanılacak olan kaplama verilerinin yönetimini yapmaktır. Yönetim işlemi, modellere uygulanacak kaplamaların dosyalardan okunması ve okunan bu verilerin çizim modülüne iletilmesidir. Böylelikle şekillerin detayı ve gerçekçiliği artmaktadır.

3.2.4.5. Işık yönetim birimi

Günümüz grafiklerinin geliştirilmesinde ışık çok önemli bir yer almaktadır. Kaynak görüntüsünün gerçekçi görünebilmesi için kaynak üzerine düşen ışığın iyi tasarlanması gerekir. Grafik dünyasında dört çeşit ışık bulunmaktadır [101]. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

- Ambiyans Işık
- Dağınık Işık
- Yansıma Işık
- Salıcı Işık

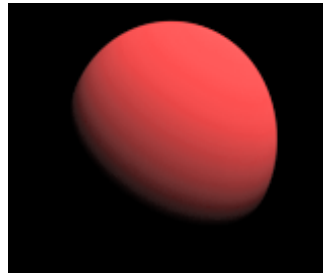
3.2.4.5.1. Ambiyans ışık

Işık, gerçek dünyada yoluna çıkan tüm nesnelere çarpıp yön değiştirmektedir. Bundan dolayı, ışık kaynağın direkt olarak görmeyen yüzeyler de ışık alabilmektedir. Örneğin, ışık kaynağının tavanda olduğu bir odada masanın altı ışığı direkt olarak görmediğinden yüzeyinin karanlık olması gerekir. Fakat gerçekte durum böyle değildir. Işık kaynağından çıkan ışınlar duvarlara ve yere çarptıktan sonra masanın altına ulaşabilmektedir. Dolayısıyla masanın altı bir miktar da olsa aydınlanacaktır. Bilgisayar grafiklerinde ışığın izlediği bu yolun gerçek zamanlı olarak takip edilmesi çok zordur. Bu sebepten dolayı ambiyans ışık modeli kullanılmaktadır.

Ambiyans ışık, üç boyutlu simülör görüntüsünde bütün yüzeylere aynı miktarda uygulanmaya çalışılır. Ambiyans ışığın bir yönü ve kaynağı bulunmaz.

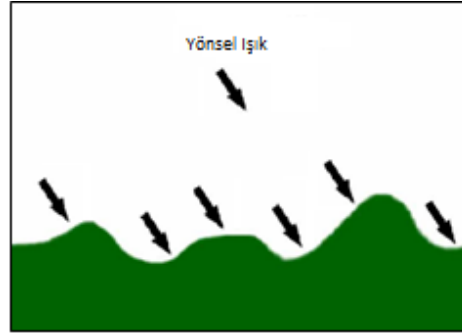
3.2.4.5.2. Dağınık ışık

Belirli bir yönü ve kaynağı olan ışıklardır. Gerçek ışık kaynaklarının bir taklidi olarak düşünülebilir. Şekil 3.14.'de bu ışık kaynağının şekil üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Üç farklı dağınık ışık bulunmaktadır. Bunlar yönsel ışık, noktasal ışık ve fener ışığıdır.



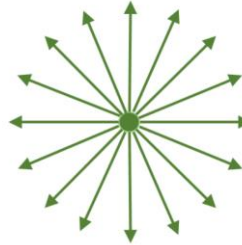
Şekil 3.14. Dağınık ışığın şekil üzerindeki etkisi

Yönsel ışık kaynağının belirli bir çıkış noktası bulunmamaktadır. Fakat belirtilen yönde paralel ışınlar yollamaktadır [102]. Yönsel ışık, güneş gibi düşünülebilir. Şekil 3.15.'de yönsel ışığın yüzeyler üzerine olan etkisi gösterilmektedir.



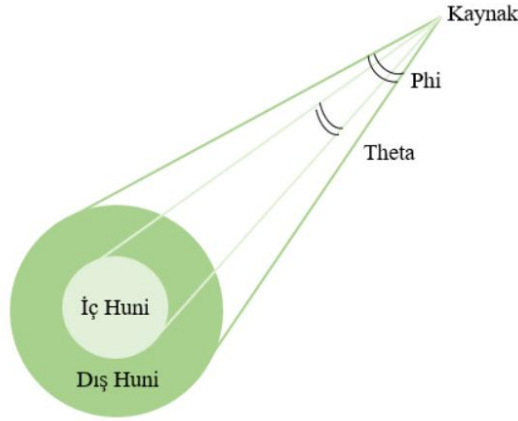
Şekil 3.15. Yönsel ışık

Noktasal ışık evlerde kullanılan lambalar gibi düşünülebilir. Belirli bir noktadan tüm yönlere ışık yaymaktadır. Şekil 3.16.'da noktasal kaynağının nasıl ışık yaydığı gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Noktasal ışık

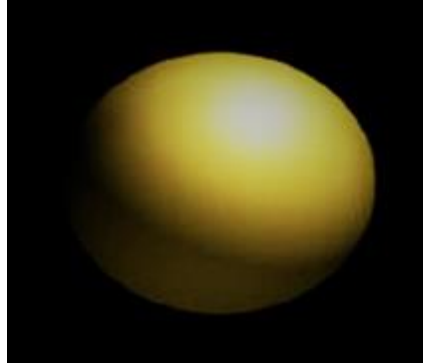
Fener ışık kaynağı diğerlerine göre uygulanması en karmaşık olan kaynaktır. Fener ışığında iki önemli parametre devreye girmektedir. Bunlar Şekil 3.17.'de gösterilen iki açıdır. Bu açılar oluşacak ışığın iç ve dış hunilerini belirleyecektir [101]. Sanal kaynak simülöründe ihtiyaç duyulmadığından kullanılmamıştır.



Şekil 3.17. Fener ışığının parametreleri

3.2.4.5.3. Yansıma (aynasal) ışık

Gerçek dünyada parlak nesnelere ışık çarptığında cisim üzerinde parlama olmaktadır. Bilgisayar dünyasında bunun karşılığı yansıma ışıklardır. Şekil 3.18.'de buna bir örnek gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Yansıma ışığının şekil üzerindeki etkisi

3.2.4.5.4. Salıcı ışıklar

Bir ışığın sahne üzerindeki etkisinin hesaplanması oldukça uzun işlemler gerektirmektedir. Bu sebepten dolayı OpenGL aynı anda sekiz ışığın hesabına imkân vermektedir. Gerçek dünyada sokak lambaları gibi yüzlerce ışık kaynağı çok küçük bir alanda bulunabilmektedir. Bu sebepten dolayı yeri değişmeyen ışıkların aydınlatma hesapları daha önceden yapılır.

3.2.4.5.5. OpenGL ışık sistemi

OpenGL ışık sistemi gerçek dünya ışık modelinin basitleştirilmiş bir halini kullanmaktadır. Buna göre ışığın çarptığı yüzeyin materyali ve ışığın çarpış açısı kullanılarak yüzeyin alacağı renk hesaplanmaktadır. Gerçek dünyada ışık, yüzeylere çarptıktan sonra yoluna devam etmekte ve başka yüzeylere de çarpmaktadır. Bu tür bir hesaplamanın gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmesi çok zordur. Bu sebepten dolayı OpenGL’de gerçek zamanlı ışık hesaplamaları için `glLightModel()` isimli fonksiyon kullanılmaktadır.

3.2.4.6. Kamera yönetim birimi

Sanal dünyanın görüntülenebilmesi için sanal kameralar kullanılmaktadır. Kameranın görevi, 3-boyutlu sanal dünyadan aldığı görüntüyü 2-boyutlu ekran üzerine düşürmektir. Bunun için dünya uzayında bulunan şekillerin kamera uzayına dönüştürülmesi gerekir.

3.2.4.6.1. Kamera uzayı

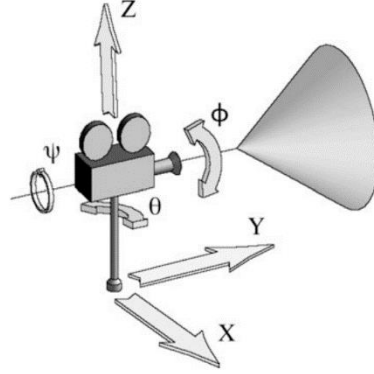
Dünya uzayında bulunan şekillerin kamera uzayına aktarılması için, bütün şekilleri oluşturan noktaların kamera matrisi ile çarpılması gerekir [103]. Kamera matrisini bulmak için, kameranın dünya matrisinin tersi alınır. Elde edilen matris kamera matrisi olarak kullanılır. Bu matris Şekil 3.19.’daki gibi olacaktır:

$$\begin{bmatrix} \text{sagVektor.x} & \text{yukariVektor.x} & \text{bakisVektor.x} & 0 \\ \text{sagVektor.y} & \text{yukariVektor.y} & \text{bakisVektor.y} & 0 \\ \text{sagVektor.z} & \text{yukariVektor.z} & \text{bakisVektor.z} & 0 \\ -(\text{pozisyon} \cdot \text{sagVektor}) & -(\text{pozisyon} \cdot \text{yukariVektor}) & -(\text{pozisyon} \cdot \text{bakisVektor}) & 1 \end{bmatrix}$$

Şekil 3.19.Kamera matrisi

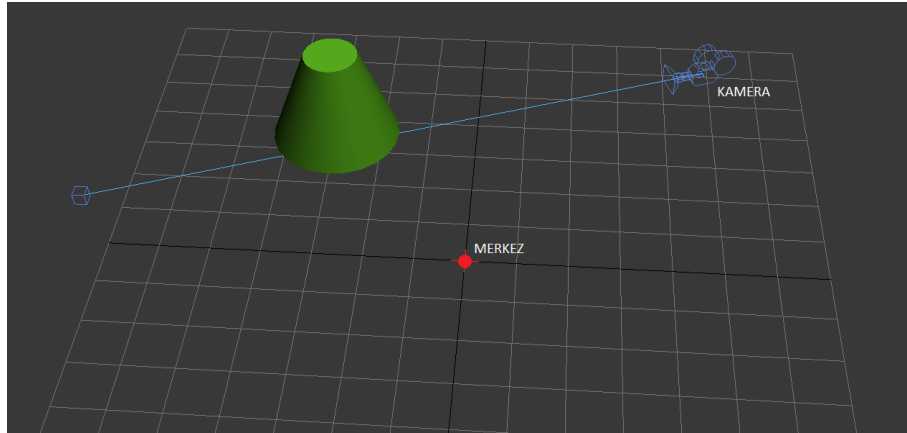
Kamera matrisinin diğer bir adı görüntü matrisidir. Görüntü matrisi bulunurken kameranın yön vektörleri ve sanal dünya üzerindeki koordinat bilgileri kullanılır. Kameranın bakış yönü bakış vektörünü, sağ tarafı sağ vektörü, yukarı taraf yukarı vektörünün yönünü göstermektedir. Görüntü matrisi oluşturulurken bu vektörler

denklemdaki gibi kullanılır. Şekil 3.20.'de sanal bir kameranın sahip olacağı temel özellikler gösterilmiştir. Burada ϕ , θ ve ψ euler açıları olup, ϕ eğim /eğilme açısını, θ yan dönme açısını ve ψ yuvarlanma açısını göstermektedir.

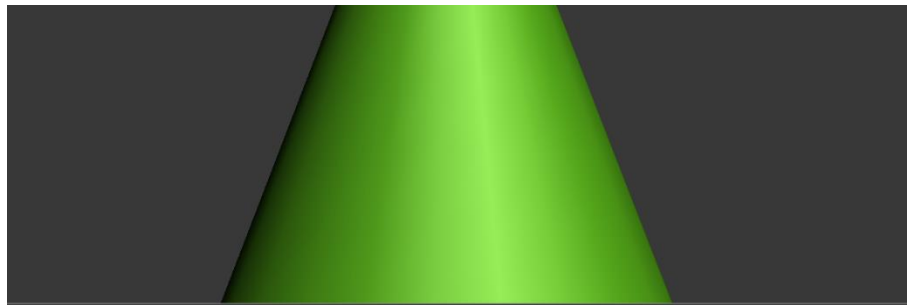


Şekil 3.20. Sanal Kamera [104]

Dünya uzayında olan cismin görünümü ve kameranın konumu Şekil 3.21.'deki gibi olursa kamera uzayındaki görünümü de Şekil 3.22. gibi olur.



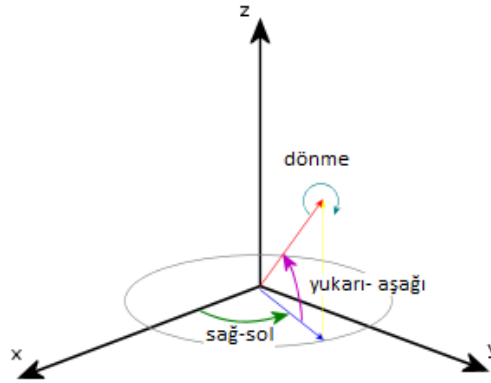
Şekil 3.21. Modelin dünya üzerindeki konumu



Şekil 3.22. Modelin kamera uzayındaki görünümü

3.2.4.6.2. Kamera döndürme

Kaynak simülatöründeki kamera, Euler döndürme mekanizmasına göre çalışmaktadır. Bu mekanizmada 3 farklı döndürme açısı bulunmaktadır. Bu açıların yönü Şekil 3.23.'de gösterilmiştir. Bu açılardan döndürme kameranın bakış yönü etrafında, sağ-sol döndürme kameranın yukarı yönü etrafında ve aşağı-yukarı döndürme ise kameranın sağ yönü etrafında gerçekleşir. Kamera insan kafasını temsil edeceğinden dönme açısı serbest kamera modu dışında kullanılmayacaktır. Kameranın döndürülme açıları, kamera sınıfı tarafından tutulmakta ve her görüntü matrisi oluşturulurken bu açılar kullanılmaktadır.



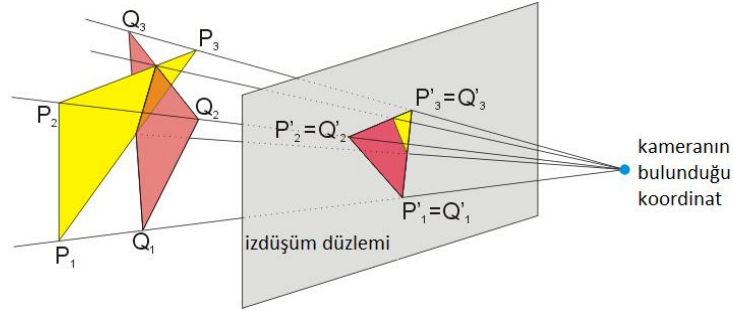
Şekil 3.23. Euler döndürme açıları

Kamera fare tarafından kontrol edilebildiği gibi başa takılan ekran tarafından da kontrol edilebilmektedir. Başa takılan ekrandan gelen veriler, fareden gelen veriler ile benzerlik göstermektedir. Başa takılan ekran, 2 boyutlu hareketleri algılamaktadır. Bu hareketler, başın sağa-sola ve yukarı-aşağı hareketleridir. Kamera kontrolü başa takılan ekrana verilirken kullanıcının dik (90 derece ile) olarak karşıdan bakıyor olması gerekmektedir. Aksi takdirde, kamera harekete yanlış konumda başlayacağından gerçekçi bir kamera kontrolü sağlanamamaktadır.

3.2.4.6.3 Projeksiyon

Kamera uzayına yerleştirilen şekillerin iki boyutlu ekran üzerine düşürülmesi gerekmektedir. Bunun için kamera uzayına alınmış olan şekillerin projeksiyon

matrisi ile çarpılıp ekran uzayına aktarılması gerekir. Sanal kaynak simülöründe perspektif projeksiyon tekniği kullanılarak görüntü elde edilmiştir. Şekil 3.24.'de 3-boyutlu ortamda bulunan P ve Q üçgenlerinin izdüşüm düzlemindeki görüntüleri gösterilmiştir.



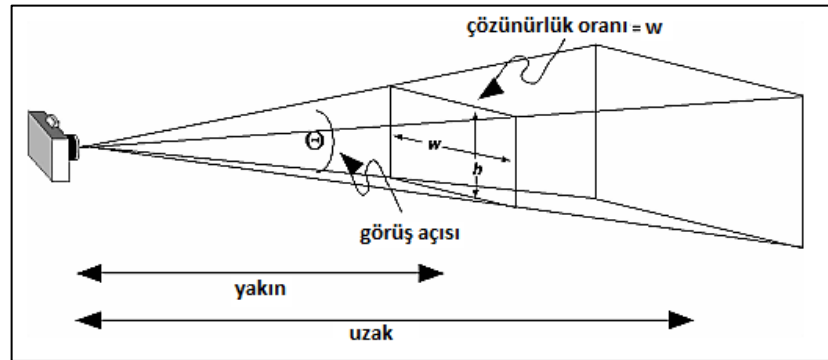
Şekil 3.24. 3-boyutlu cisimlerin 2-boyutlu düzlemde gösterimi [105]

Projeksiyon matrisi oluşturulurken Şekil 3.25.'te gösterilen parametreler kullanılmaktadır. Bunlar:

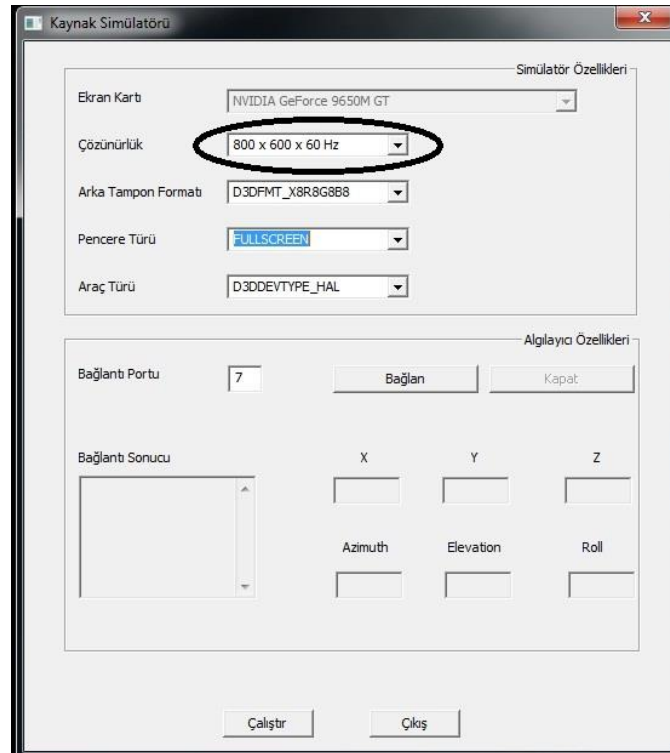
- Görüş açısı: kameranın mercek açısını temsil etmektedir. Simülörde bu açı 45° olarak girilmiştir.
- Çözünürlük oranı: bu oran simülörün çalışacağı çözünürlüğün genişlik/yükseklik oranını temsil etmektedir. Kullanıcının giriş ekranında seçtiği çözünürlük değerlerine göre otomatik olarak ayarlanmaktadır.
- w-h: w simülörün çalıştığı çözünürlüğün genişliğini iken h ise yüksekliği temsil eder. Bu değerler simülörün giriş ekranında kullanıcı tarafından belirlenmektedir (Şekil 3.26.).
- Yakın düzlem: kameranın görebileceği en yakın mesafedir. İzdüşüm bu düzlem üzerine gerçekleştirilir. Proje içerisinde bu mesafe 1 inç olarak girilmiştir.
- Uzak düzlem: kameranın görebileceği en uzak mesafedir. Bu mesafenin dışında kalan şekiller çizilmeden iş hattından çıkarılacaktır.

Uzak ve yakın düzlemler arasında kalan alandaki şekiller kamera tarafından görülmektedir. Bu alanın dışında kalan şekiller kamera tarafından görülemediğinden

iş hattından çıkarılmaktadır. Fakat bu işlem, şekiller ekran kartına gönderildikten sonra yapıldığından, gereksiz yere birçok matematiksel işlem gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla ekran kartı gereksiz yere meşgul edilmektedir. Proje içerisinde kullanılan sahne yönetim mekanizması sayesinde şekiller ekran kartına yollanmadan önce kameranın görüş alanında olup olmadığı kontrol edilmektedir. Eğer görüş alanı dışında olan şekil varsa, bu şekil ekran kartına gönderilmemektedir. Bu sayede ekran kartına düşen yük azalmaktadır.



Şekil 3.25. Kamera- projeksiyon ilişkisi [106]



Şekil 3.26. Kaynak simülasyonu ayar ekranı

3.2.5. OpenGL grafik kütüphanesi

OpenGL, 2 veya 3 boyutlu bilgisayar grafiklerini ekrana çizdirmek için kullanılan ücretsiz bir grafik kütüphanesidir. Ekran kartı ile programcı arasında iletişim mekanizması oluşturan bu kütüphane, donanımdan bağımsız olarak grafik geliştirmeye imkân sağlamaktadır. Linux, Windows ve MacOS gibi farklı işletim sistemleri ile uyumlu bir şekilde çalışabilmektedir. OpenGL, programcı ile donanım arasında arabulucu bir katman görevi görür.

Kaynak simülatöründe çizim işlemleri OpenGL grafik kütüphanesi kullanılarak yapılmıştır. Alternatif bir çizim kütüphanesi olan DirectX, çoklu platform desteğinin bulunmamasından dolayı tercih edilmemiştir.

3.2.6. Kaynak dikişi sorgu birimi

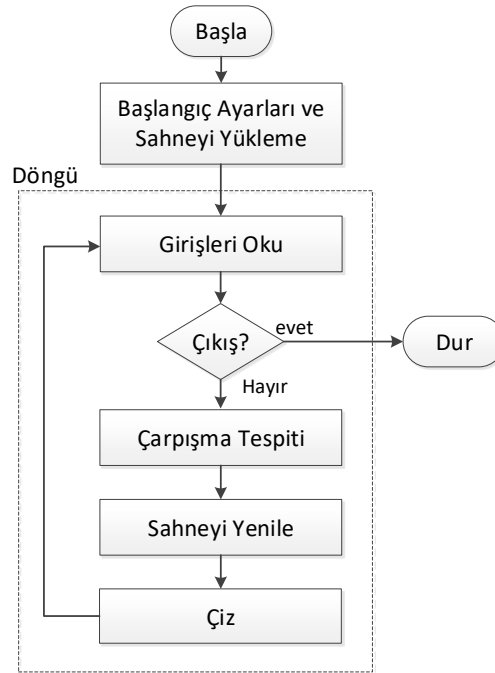
Bu birim, konum ve oryantasyon sensörlerinden gelen parametre giriş değerlerine karşı belirlenecek kaynak dikişi boyutlarını grafik motoruna yollayan birimdir. Literatürdeki gerçek kaynak uygulamalarından alınan kaynak dikiş boyutlarının yapay sinir ağı vasıtasıyla çoğaltılmasıyla kaynak dikiş boyutu veritabanı oluşturulmuştur.

3.3. Yazılımın Çalışması

Sanal kaynak simülatörü yazılımı, Şekil 3.27.'de gösterildiği üzere program sonlanana kadar dönen bir döngüde çalışır. Her döngünün sonunda, sanal sahnenin bir görüntüsü oluşturulur ve bu görüntü başa takılan ekrana gönderilir. Simülatör, bir saniyede 60 görüntü çizebilir. Bu şekilde, kaynak animasyonları çok daha akıcı hale gelir ve kullanıcının gerçeklik hissi artar.

Program devamlı döngüye girmeden önce bir ön-hazırlık aşaması gerçekleştirilir. Bu aşamada, önce dinamik/statik nesnelere ve gözlemci kamerasından oluşan sanal sahne oluşturulup hemen sonrasında da giriş/çıkış cihazları başlatılır.

Simülâtör döngüye girdiğinde, giriş/çıkış kontrol birimi sensör cihazlarını dinler. Bu cihazlardan ilki, torçun pozisyon ve yön bilgisini veren flock of birds sensörüdür. Bu bilgi, torcu sanal ortamda konumlandırmak için kullanılır. Diğer bir giriş/çıkış cihazı, başa takılan ekran üzerinde olup kullanıcının kafa hareket bilgilerini veren sensördür. Simülâtör, sanal kameranın yönünü kontrol etmek için bu sensörlerden gelen verileri kullanır. Kullanıcı kafasını çevirdiğinde, sanal kamera harekete göre döner. Bu durum kullanıcının sanal sahneye bağlı olduğunu düşünmesini sağlar. Bu iki sensör simülâtörün birbirinden farklı işlevleri için çalışır. Kaynak dikişinin oluşabilmesi için flock of birds kullanılırken, başa takılan ekrandan gelen veriler sadece kullanıcının görünümünü güncellemek için kullanılır ve kaynak dikiş işlemi üzerinde bir etkisi yoktur.



Şekil 3.27. Simülâtör program çevrimi

Giriş değerlerinin okunmasıyla birlikte simülâtör torcun konum ve yönünü analiz eder. Sistem, sanal modeller arasında bir çarpışma olup olmadığını belirlemek ya da modeller arasındaki mesafeyi bulmak gibi fonksiyonları içeren çarpışma algılama modülünü kullanarak üzerine kaynak yapılacak olan iş parçası ile torç elektrodu arasındaki mesafeyi belirler. Torç elektrodu iş parçasına yeterince yakınsa, yazılımın grafik motoru ünitesi kaynak dikişini oluşturmaya başlar. Kaynak dolgusunun

belirmesiyle birlikte ses motoru kaynak sesini üretir. Kullanıcı, ekrandan aldığı geri bildirim göre hareketlerini yapar. Kullanıcı hareketlerini giriş değerleri olarak alan sistem her defasında sanal sahneyi yeniden çizer.

3.4. Analiz Edilen Simülatörlerin Karşılaştırılması

Piyasada bulunan sanal kaynak simülatörleri pahalı cihazlardır. Sanal kaynak simülatörümüz, yazılan grafik motoru sayesinde optimum bir maliyetle tasarlanıp geliştirilmiştir. Simülatörü çalıştıracak motor yazılımı C++ programlama dili ve OpenGL grafik kütüphanesi kullanımıyla tarafımızdan gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma boyunca incelenen sanal kaynak simülatörleri ve kendi simülatörümüzün karşılaştırılması Tablo 3.1.'de görülmektedir.

Tablo 3.1. Analiz edilen simülatörlerin karşılaştırılması.

Simülatör	Kaynak türü	Grafik motoru	3D	Başlık içi HMD	Konum algılama	Kaynak sesi	Performans gösterimi
Bu çalışma	MIG, TIG, EA	kendi	√	√	Flock of Birds	√	√
Fronius	MIG, TIG	X	X	√	Manyetik sensör	√	√
CS WAVE [54]	MIG, TIG	X	X	X	Pc sensör	√	√
ARC+ [55]	TIG	bilgi yok	√	√	Hareket sensörü	X	√
ARC+	MIG, TIG	bilgi yok	√	√	Hareket sensörü	√	√
VRTEX 360	MIG	VRSIM	√	√	Optik sensör	√	√
Mavrikios ve ark. [47]	MIG	Infinite Reality 2	√	√	Veri eldiveni	X	√
Fast ve ark. [48]	MIG	Endea VR	√	√	Haptic cihaz	√	X
White ve ark. [49]	MIG	kendi	√	X	Kamera	√	X
Bharath ve ark. [53]	EA	Unity 3d	√	X	Optik sensör	√	X

BÖLÜM 4. ÖNERİLEN KAYNAK DİKİŞ FORMU ELDESİ

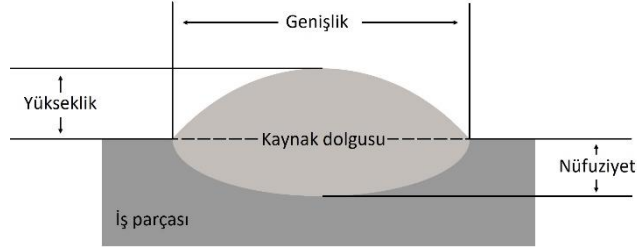
Sanal kaynak simülatörü ile yapılacak kaynak uygulaması esnasında kaynak dolgunu belirlemektedir. Bu dolgunun oluşumunda kullanılacak olan kaynak dikiş biçimine literatürdeki gerçek kaynak uygulamaları incelenerek karar verilmiştir. Şekle karar verdikten sonra, bu biçim ile ilgili literatürdeki yapay sinir ağı çalışmaları incelenmiş ve dikiş parametrelerine ait değerler her bir parametredeki değişiklikler için çoğaltılmıştır.

Sanal kaynak işlemi yapılırken, kullanıcının el hareketleri torç üzerindeki sensör aracılığıyla algılanmaktadır. Sensörden alınan bu veriler kullanılarak kaynak görüntüsünün voksel haritası gerçek zamanlı olarak oluşturulmaktadır. Vokselleme işlemi, 2 boyutta en küçük görüntü birimi olan piksele karşılık 3-boyutlu grafiklerdeki en küçük hacim birimi olan voksel ile modeli oluşturmaktır. Vokselleme işlemiyle ortaya çıkan 3B voksel çiziminde, her voksele karşılık gelen eş-hücreler elde edilir. Sonrasında, hash-temelli sekizli-ağaç veri yapısı [32] oluşturularak ilgili voksellerin kontrolü sağlanır. Elde edilen voksel haritası üzerinden eş yüzey oluşturma işlemi gerçekleştirilerek kaynak görüntüsünün üçgenlerden oluşan yüzeyi kaynak işlemi süresince oluşturulmaktadır. Üçgenler günümüzdeki, 3-boyutlu grafik uygulamalarında kullanılan en temel çizim birimidir. Bunun temel sebebi üçgenlerin üç noktasının da aynı düzlem üzerinde bulunmasıdır. Bu sayede, çarpışma testleri ve fizik testleri gibi birçok matematiksel işlem rahatlıkla yapılabilmektedir [107].

4.1. Kaynak Dikiş Temel Şeklinin Belirlenmesi

Bölüm 2.2.'de anlatıldığı üzere, kaynak dikiş ile ilgili yapılan çalışmaların incelenmesi sonucunda Şekil 4.1.'de gösterilen kaynak dikiş şekli ve parametrelerine

karar verilmiştir. Akabinde de Tablo 4.1. oluşturularak dikiş şeklimize ulaşmada kullanacağımız kaynak giriş/çıkış parametreleri görülmüştür.



Şekil 4.1. Kaynak dikiş şekli ve parametreleri

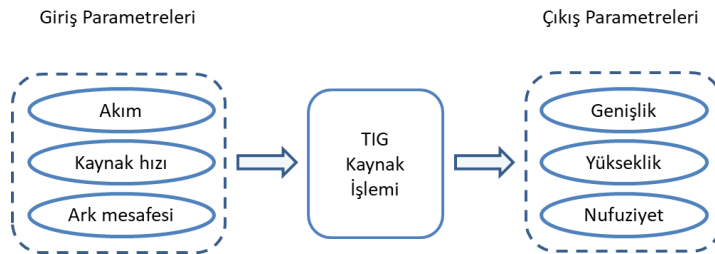
Tablo 4.1. Literatürdeki giriş/çıkış parametreleri tablosu

Kaynak Türü	Referans	Giriş Parametreleri						Çıkış Parametreleri		
		Kaynak Hızı	Akım	Gerilim	Ark Mesafesi	Kaynak Açısı	Tel hızı	Nüfuziyet	Genişlik	Yükseklik
MIG	Shoeb ve ark. [63]	√		√				√	√	√
MIG	Kim ve ark. [70]	√	√	√				√	√	√
MIG	Sreeraj and Kanna [97]	√	√		√	√		√	√	√
MIG	Karadeniz ve ark. [108]	√	√	√				√	√	√
MIG	Son ve ark. [109]	√	√	√					√	
MIG	Tewari ve ark. [110]	√	√	√				√		
MIG	Ghazvinloo ve ark. [111]	√	√	√				√		
MIG	Das ve ark. [112]	√	√	√				√		
TIG	Trivedi and Bhabhor [65]	√	√					√	√	√
TIG	Duman [76]	√	√		√			√		
TIG	Juang ve ark. [87]	√	√		√		√	√	√	√
TIG	Nagesh and Datta [93]	√	√		√		√		√	√
TIG	Iqbal ve ark. [96]	√	√	√					√	√
TIG	Andersen ve ark. [113]	√	√	√			√	√	√	√
TIG	Musthag and Batcha [114]	√	√					√	√	√
TIG	Esmé ve ark. [117]	√	√		√			√	√	√

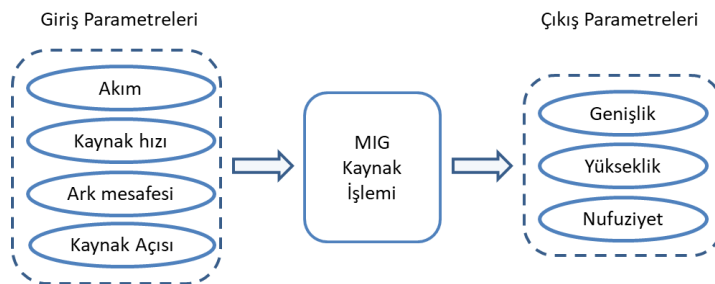
Kaynak dolgumuzu oluşturan dikişlerin yükseklik, genişlik ve nüfuziyet parametrelerine ait değerler literatürdeki kaynak dikişi deneyleri ve yapay sinir ağı uygulamalarından elde edilmiştir. Yine bu kaynak dikişinin belirlendiği çalışmalar

incelendiğinde, kullanılan giriş parametrelerinin tablolanması sonucunda (Tablo 4.1.), kaynak şeklinin belirlenmesine direk etki eden parametrelerin kaynak hızı ve akım olduğu görülmüştür. Bu parametrelere ek olarak TIG kaynağında ark mesafesinin etkisi ve MIG kaynağında da gerilim değerinin etkisi önemlidir. Bununla beraber, 109M087 kodlu “Sanal Kaynak Simülatörü Tasarımı ve İmalatı” isimli TÜBİTAK projesinde bulunan kaynak uzmanı akademisyenler de akım sabit olmak üzere kaynak şekli ve kalitesine en çok etki eden parametrelerin %60 ile kaynak hızı, %30 ile ark mesafesi ve %5 ile de kaynak açısı olduğunu belirtmişlerdir [115, 116].

Bu çalışmada Esmen’in giriş parametreleri olarak akım, kaynak hızı ve ark mesafesi değişkenlerini kullandığı TIG kaynak uygulaması ile ilgili çalışmasındaki [117] ve Sreeraj’ın giriş parametreleri olarak akım, kaynak hızı, ark mesafesi ve kaynak açısı değişkenlerini kullandığı MIG kaynak uygulaması ile ilgili çalışmasındaki [97] gerçek kaynak uygulamalarından derlenen veriler değerlendirilmiştir. Literatür ve uzman ekip görüşleri sonucunda belirlenen giriş parametreleri ve sanal kaynak işlemi sonucunda oluşacak kaynak dikişine ait çıkış parametreleri Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.’te gösterilmiştir.



Şekil 4.2. TIG kaynak işlemi için giriş ve çıkış parametreleri



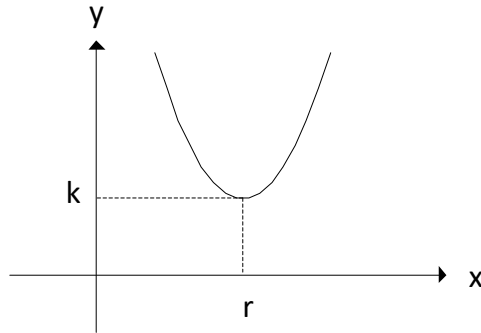
Şekil 4.3. MIG kaynak işlemi için giriş ve çıkış parametreleri

4.1.1. Parabol

Şekil 4.1.'de gösterilen kaynak dikiş şekline bakıldığında iki parabolün altlı-üstlü birleşimi şeklinde görülmektedir. Chambers ve Wu [78, 80] çalışmalarında kaynak dikiş kesitinin parabole benzediğini belirtmişlerdir. Ayrıca Chambers parabol merkezi (0,0) olmak kaydıyla y-ekseninde döndürülmesiyle bir kaynak dikiş hacmi elde etmiştir. Mavrikios [47] da çalışmasında kaynak dikiş hacmi bulunurken elipsoitten faydalanmıştır.

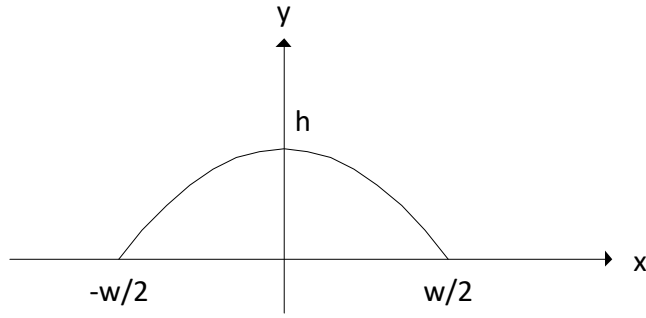
Parabol, cebirde Denklem 4.1'de gösterilen ikinci derece fonksiyonların grafiği olarak bilinmektedir. Burada, a parabolün yönünü gösterirken, (r,k) noktası da parabolün tepe noktasını ifade etmektedir. Bu denkleme ait grafik Şekil 4.4.'te gösterilmiştir.

$$y = a(x - r)^2 + k \quad (4.1)$$



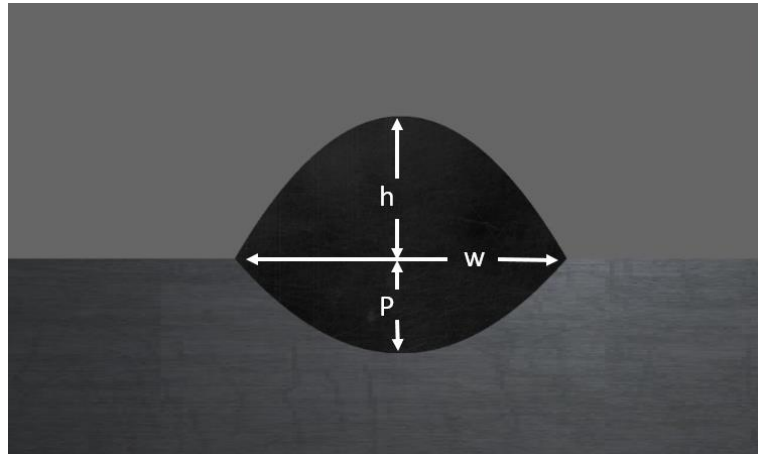
Şekil 4.4. Parabol

Önerilen bu çalışmada kaynak dikiş kesitinin parabole benzemesinden dolayı Şekil 4.5.'teki parabole ait hesapsal formüller kullanılmıştır. Burada, h kaynak dikiş kesitindeki yüksekliği, w ise kaynak dikiş kesitinin genişliğini ifade etmektedir.



Şekil 4.5. Kaynak dikişi için seçilen parabol şekli

Sanal Kaynak simülatörü ile sanal kaynak uygulaması yapılırken torç üzerindeki sensörden alınan giriş parametrelerine karşılık kaynak dikişi sorgu ünitesinden gelecek olan kaynak genişliği (w), yüksekliği (h) ve nufuziyeti (p) değerleri kullanılarak parabolün denklemleri hesaplanmakta ve ilgili dikiş Şekil 4.6.'te görüldüğü şekilde çizilmektedir.



Şekil 4.6. Kaynak dikişi kesiti parametreleri

Şekil 4.5.'teki parabol değerleri Denklem 4.1'de yerine konduğu takdirde $r = 0$ ve $k = h$ olur ve Denklem 4.2 elde edilir:

$$y = a(x)^2 + h \quad (4.2)$$

Denklem 4.2'deki a değerine ulaşmak istediğimizde Denklem 4.3 elde edilir:

$$a = \frac{y-h}{x^2} \quad (4.3)$$

Yine, Şekil 4.5.'teki parabole ait $x=w/2$ değeri $y=0$ noktası için Denklem 4.3'de yerine yazılırsa Denklem 4.4 elde edilir ve a değeri denklem 4.5'teki son halini alır:

$$a = \frac{0-h}{(w/2)^2} \quad (4.4)$$

$$a = -\frac{4h}{w^2}$$

(4.5)

4.1.2. Yapay sinir ağları

Biyolojik sinir hücrelerinden esinlenerek geliştirilen yapay sinir ağları, bilinen hesaplama yöntemlerinden farklı olarak, adaptif, eksik bilgi ile çalışabilen, belirsizliklere rağmen karar verebilen, hataları tolere edebilen ve hayatın birçok alanında başarılı uygulamaları görülen bir hesaplama sistemidir [86]. Bu ağlara olan ilgi yüksektir, öyle ki, tahmin, sınıflandırma, veri yorumlama, veri filtreleme ve optimizasyon çalışmalarında yapay sinir ağları en güçlü teknikler arasında sayılır. Büyük veri, döviz/kur/borsa tahminleri, veri madenciliği, örüntü/görüntü tanıma, işaret işleme/filtreleme, el-yüz-parmak izi tanıma, yol-rota belirleme, iş çizelgesi hazırlama, kalite kontrol, tıbbi analizler gibi birçok alanda örneklerine rastlanır [118].

Yapay sinir ağları, yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanmasıyla oluşan yapılardır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan modeli XOR problemini çözebilmek için yapılan çalışmalar neticesinde ortaya çıkan çok katmanlı algılayıcı ağlardır [86, 118]. Bu ağlar mühendislik problemlerinin çoğuna çözüm üretebilecek nitelikte olup tahmin problemlerinde çok iyi sonuçlar üretmektedir. Bu ağlar 3 katmandan oluşurlar:

- Girdi katmanı: Bu katmanda herhangi bir bilgi işleme olmayıp, dış dünyadan bilgilerin alındığı katmandır.
- Ara katmanlar: Girdi katmanından gelen verilerin işlendiği kısımdır. Genelde birçok problemi bir adet ara katman ile çözmek mümkündür. Çözülecek

problemin girdi/çıktı arasındaki ilişkisi doğrusal olmaz ise veya ağın öğrenmesinde karmaşıklık artarsa birden fazla sayıda ara katman kullanılabilir. Ara katman sayısı ve her ara katmandaki proses elemanı sayısının kaç olması gerektiğini gösteren bir yöntem olmadığından bu sayılar deneme yanılma yolu ile bulunmaktadır.

- Çıktı katmanı: Ara katmandan gelen bilgilerin işlendiği katmandır. Bu katmanın görevi ağa girdi katmanından verilen girdi için ağın üreteceği çıktıyı bulmaktır.

Girdi ve çıktı katmanlarındaki eleman (proses) sayısı belirlenirken problemin çözüm yolu göz önünde bulundurulur. Burada, girdi olarak kullanılacak eleman sayısı ve sonuçta çıkacak eleman sayısına göre karar verilir. Veri ve bilginin ilerleyiş yönü girdi katmanından ara katmana oradan da çıktı katmanına doğrudur.

Çok katmanlı algılayıcı ağın eğitimi için “genelleştirilmiş delta kuralı” uygulanır. Çok katmanlı ağlar öğretmenli öğrenme yöntemini kullanır. Eğitim sırasında hem girdiler hem de o girdilere karşılık gelen çıktılar ağa gösterilir. Öğrenme kuralının amacı eğitim esnasında yapay sinir ağının üreteceği çıktılar ile normalde üretmesi beklenen çıktılar arasındaki farkı azaltmaktır. Bu farka hata da denmektedir. Hata, yapay sinir ağındaki ağırlıklara geriye doğru dağıtılarak zaman içinde en aza indirgenir. Buna da geriye doğru hesaplama denmektedir [86].

Yukarıda anlatılanlar neticesinde karar verilen YSA modelimizin özellikleri Şekil 4.7.’de ve çalışma prosedürü de Şekil 4.8.’de verilmiştir.

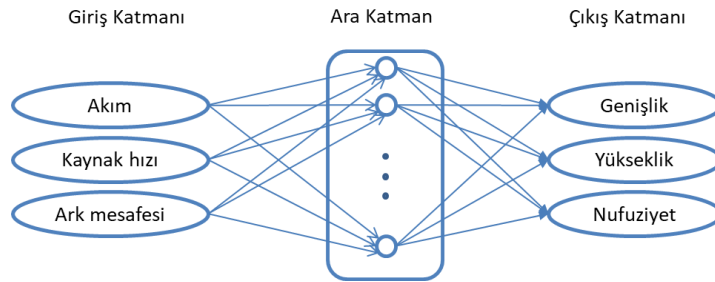
1. Çok Katmanlı.
2. Öğrenme Stratejisi → Öğretmenli (Danışmanlı) Öğrenme.
Öğretmen Girdi/Çıktı setini verir.
Sistemin görevi girdileri öğretmenin belirlediği çıktılara haritalamaktır.
3. Genelleştirilmiş Delta Öğrenme Kuralı: iki aşamadan oluşur:
İleri Beslemeli (feed-forward).
Geri yayımlı (Back-propagation): Genelleştirilmiş Delta Öğrenimi.
4. Ağ yapısına göre: Statik → ileri beslemeli.
5. Uygulamaya göre: Offline → sistem kullanıma alınmadan önce eğitiliyor.

Şekil 4.7. Karar verilen YSA modeli özellikleri

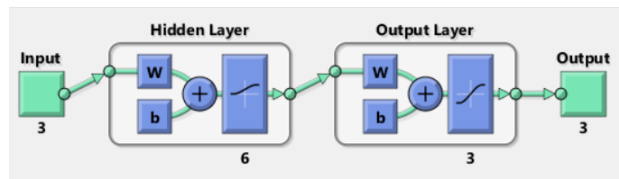
- 1- Örneklerin toplanması.
Eğitim seti, test seti.
- 2- Ağın topolojik yapısının belirlenmesi.
Giriş, ara, çıkış katman sayılarının belirlenmesi.
- 3- Öğrenme parametrelerinin belirlenmesi.
Öğrenme katsayısı, momentum katsayısı, hata düzeyi, epoch sayısı, aktivasyon fonksiyonu.
- 4- Eğitim setinden örneklerin seçilmesi ve ağa sunulması.
İleri yönde hesaplama: girişe göre çıkışların ve hataların bulunması.
- 5- Hata tespiti.
if (hata < ϵ) goto 7
if (hata > ϵ) goto 6
- 6- Ağırlık güncellemesi ve goto 5.

Şekil 4.8. Karar verilen YSA modeli çalışma prosedürü

TIG Kaynağı için Bölüm 2.2.2.'de bahsedilen yapay sinir ağı öngörülerini ile birlikte, Bölüm 4.1.'de anlatılan girdilerin ve çıktılarının uygulanacağı ağı şematik durumu Şekil 4.9.'de gösterilmiştir. Kaynak dikiş boyutları öngörüsü için kullandığımız yapay sinir ağı modelimizin Matlab yazılımındaki gösterimi ise Şekil 4.10.'de görülmektedir. Ağı eğitimi ve testi için kullanılacak veriler Esmen'in [117] 16 adet gerçek TIG kaynak uygulamalarından alınmıştır. Verilerin %70'i eğitim, %15'i doğrulama ve %15'i de test için kullanılmıştır. Akım, hız ve ark mesafesi değişkenlerinden oluşan giriş katmanından sonra ara katman gelmektedir. Ara katman sayısı ve her ara katmandaki proses elemanı (nöron) sayısının kaç olacağına Tablo 4.2.'de görüldüğü üzere deneme yöntemiyle bakılmış ve tek katmanda 6 nöron olarak karar verilmiştir. Bu değer Xu'nun ara katman sayısı hesabı için kullandığı $n_{ara} = (n_{giriş} + n_{çıkış})^{1/2} + a$ formülü ile de örtüşen bir değerdir. Bu formülde a değeri 1 ile 10 arasında bir sayıdır ve $n_{ara} = (3+3)^{1/2} + a$ eşitliğinde a yerine [1,10] aralığı yazılırsa $n_{ara} = [3.45, 12.45]$ çıkmaktadır ve '6' sayısı bu aralıktadır.



Şekil 4.9. TIG kaynak dikiş boyutları öngörüsü için kullanılan YSA şematik gösterimi.



Şekil 4.10. TIG kaynak dikiş boyutları öngörüsü için kullanılan YSA Matlab gösterimi.

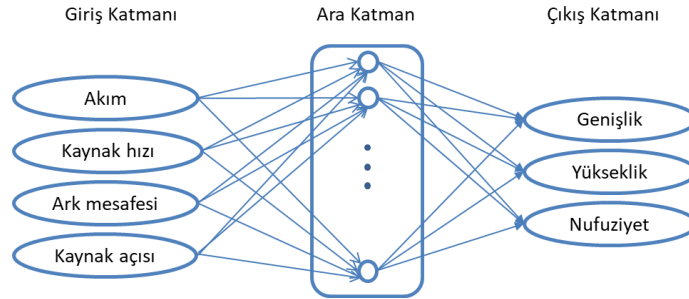
Tablo 4.2. Yapay Sinir Ağı ara katman nöron sayısı belirleme denemeleri (TIG Kaynağı)

Model No	Ağ Kurgusu	Eğitim	Öğrenme	Başarım	Transfer	Epok	Eğitim	Doğrulama	Test	Ortalama
1	3-4-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	1000	0,94695	0,9965	0,96308	0,94865
2	3-6-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	76	0,97588	0,99905	0,99967	0,98238
3	3-8-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	22	0,89209	0,9946	0,99519	0,94052
4	3-10-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	90	0,94048	0,98562	0,98915	0,95036
5	3-12-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	40	0,99866	0,96516	0,83979	0,96428
6	3-14-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	45	0,87647	0,98744	0,99816	0,9014
7	3-16-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	75	0,97325	0,97162	0,97955	0,97245
8	3-18-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	53	0,93201	0,99917	0,99943	0,94751
9	3-20-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	26	0,97645	0,85719	0,99759	0,95095
10	3-22-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	80	1	0,7832	0,61538	0,95675
11	3-24-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	39	0,96352	0,92017	0,80539	0,9386
12	3-26-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	39	0,92456	0,97562	0,8936	0,90501
13	3-28-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	23	0,77728	0,97097	0,77125	0,79982
14	3-4-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	18	0,96789	0,92356	0,96945	0,95685
15	3-6-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	10	0,95567	0,83261	0,88164	0,9477
16	3-8-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	10	0,96151	0,93484	0,96236	0,95553
17	3-10-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	14	0,96228	0,98681	0,99153	0,9656
18	3-12-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	12	0,98206	0,97802	0,73723	0,95511
19	3-14-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	10	0,97766	0,93614	0,99406	0,95009
20	3-16-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	14	0,89539	0,93957	0,44219	0,8811
21	3-20-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	15	0,96678	0,87874	0,895	0,95546
22	3-4-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	761	0,97509	0,99907	0,98572	0,97206
23	3-6-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	308	0,99658	0,97894	0,81998	0,97473
24	3-8-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	70	0,81356	0,99979	0,95287	0,85318
25	3-10-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	119	0,85407	0,83753	0,68427	0,8324
26	3-12-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	37	0,9015	0,90499	0,9928	0,90556
27	3-14-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	51	0,93612	0,92478	0,96406	0,93919
28	3-16-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	42	0,91081	0,5342	0,92003	0,8801
29	3-20-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	46	0,99129	0,813	0,90655	0,96239

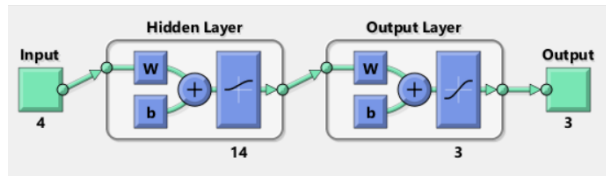
Ağ kurgusu yapılırken eğitim fonksiyonu olarak TrainLM (Levenberg-Marquardt backpropagation function) referans alınmıştır. Mathworks kendi web sayfasında TrainLM eğitim fonksiyonunun genel olarak en hızlı geri yayılım algoritması olduğunu belirtmiştir. Newton algoritmasının hızını ve dik iniş (steepest descent) metodunun kararlılığını birleştirmesi en önemli özelliğidir [119]. Bu fonksiyonun ağ eğitiminde etkili olarak kullanıldığına dair çalışmalar da mevcuttur [120-123]. En uygun transfer fonksiyonu belirlenirken de LogSig() ve TanSig() transfer fonksiyonlarının birbirlerine yakın sonuçlar ürettiği ancak en iyi sonucu LogSig fonksiyonunun verdiği saptanmıştır. Bununla beraber, Mathworks'a ait Matlab yazılımının nntool isimli yapay sinir ağı aracı yardım menüsündeki ve Mathworks'ün kendi web sayfasındaki açıklamalara göre, verilerin pozitif olduğu durumlarda

LogSig() fonksiyonunun seçilmesi ve negatif olduğu durumlarda ise TanSig() fonksiyonunun seçilmesi gerektiği belirtilmiştir.

MIG Kaynağı için de yine Bölüm 2.2.2.'de bahsedilen yapay sinir ağı öngörülerini ile birlikte, Bölüm 4.1.'de anlatılan girdilerin ve çıktılarının uygulanacağı ağıın şematik durumu Şekil 4.11.'de gösterilmiştir. Kaynak dikiş boyutları öngörüsü için kullandığımız yapay sinir ağı modelimizin Matlab yazılımındaki gösterimi ise Şekil 4.12.'de görülmektedir. Ağıın eğitimi ve testi için kullanılacak veriler Sreeraj'ın [97] 32 adet gerçek MIG kaynak uygulamalarından alınmıştır. Verilerin %70'i eğitim, %15'i doğrulama ve %15'i de test için kullanılmıştır. Akım, hız, ark mesafesi ve kaynak açısı değişkenlerinden oluşan giriş katmanından sonra ara katman gelmektedir. Ara katman sayısı ve her ara katmandaki proses elemanı (nöron) sayısının kaç olacağına Tablo 4.3.'te görüldüğü üzere deneme yöntemiyle bakılmış ve tek katmanda 14 nöron olarak karar verilmiştir. Ancak bu değer Xu'nun ara katman sayısı hesabı için kullandığı $n_{ara} = (n_{giriş} + n_{çıkış})^{1/2} + a$ formülü ile örtüşmemiştir. $n_{ara} = (4+3)^{1/2} + a$ eşitliğinde a yerine [1,10] aralığı yazılırsa $n_{ara} = [3.65, 12.65]$ çıkmaktadır ve '14' sayısı bu aralıkta değildir.



Şekil 4.11. MIG kaynak dikiş boyutları öngörüsü için kullanılan YSA şematik gösterimi.



Şekil 4.12. MIG kaynak dikiş boyutları öngörüsü için kullanılan YSA Matlab gösterimi.

Tablo 4.3. Yapay Sinir Ağı ara katman nöron sayısı belirleme denemeleri (MIG Kaynağı)

Model No	Ağ Kurgusu	Eğitim	Öğrenme	Başarım	Transfer	Epok	Eğitim	Doğrulama	Test	Ortalama
1	4-4-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	1000	0,97368	0,99125	0,97792	0,97609
2	4-6-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	1000	0,9726	0,95107	0,97421	0,96972
3	4-8-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	1000	0,98596	0,9785	0,96157	0,98251
4	4-10-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	1000	0,98906	0,92314	0,82302	0,94725
5	4-12-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	1000	0,777	0,97916	0,97176	0,81985
6	4-14-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	583	0,98257	0,9925	0,99249	0,98512
7	4-16-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	523	0,98537	0,93419	0,99246	0,98162
8	4-18-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	228	0,98401	0,96349	0,98813	0,9806
9	4-20-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	212	0,94283	0,97398	0,97816	0,94978
10	4-22-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	282	0,96565	0,9718	0,983143	0,94175
11	4-24-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	216	0,99124	0,96043	0,96208	0,96545
12	4-26-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	262	0,97451	0,89592	0,96749	0,96592
13	4-28-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	LOGSIG	249	0,99019	0,95232	0,92571	0,96487
14	4-4-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	11	0,90493	0,93217	0,96083	0,91748
15	4-6-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	12	0,94263	0,94398	0,79969	0,91798
16	4-8-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	18	0,90747	0,98052	0,92835	0,9282
17	4-10-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	13	0,93891	0,95208	0,8168	0,92043
18	4-12-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	13	0,94486	0,89676	0,83763	0,91937
19	4-14-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	14	0,91845	0,90184	0,91574	0,91429
20	4-16-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	18	0,90758	0,9441	0,92742	0,91216
21	4-20-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	PURELIN	16	0,91409	0,93968	0,94134	0,92122
22	4-4-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	1000	0,97171	0,99693	0,97808	0,97383
23	4-6-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	1000	0,9844	0,98867	0,94988	0,98142
24	4-8-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	1000	0,97648	0,97772	0,96038	0,97464
25	4-10-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	1000	0,98045	0,99335	0,99083	0,9834
26	4-12-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	1000	0,99717	0,977	0,88488	0,97939
27	4-14-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	1000	0,99358	0,94868	0,98635	0,98192
28	4-16-3	TrainLM	LearnGDM	MSE	TANSIG	944	0,99447	0,94813	0,93222	0,97874

4.2. Vokselleme

Gerçek dünyadaki nesnelere veya cisimleri modellemek için iki boyutlu bilgisayar grafiklerinde kullanılan piksel yapısına karşılık üç boyutlu bilgisayar grafiklerinde voksel hacim modeli kullanılmaktadır. Voksel, kartezyen koordinat sisteminde (x,y,z) merkezli bir küptür. Bu çalışmada, kaynak dolgununun yüzey bilgisini barındıran üçgen modeli ilgili hacim modelini elde etmek üzere vokselendir. Voksel verisi ile sadece yüzey bilgisi değil aynı zamanda hacim bilgisi de elde edilir. Vokselin en önemli özelliği nesnelere ait ısı, sıcaklık, renk, yoğunluk, sertlik vb. özellikleri de ihtiva edebilmesidir.

Üçgen ızgara/kafes (triangle mesh) ile çizilen kaynak dolgusunu inceleyebilmek için yüzey bilgisinin yanında hacim bilgisini de elde etmek amacıyla vokselenmiş kaynak dolgusu verisine ihtiyaç bulunmaktadır. Üçgen kafes modeli uygulamada görüntü elde edilmesinde kullanılırken arka planda bu modelin elde edilmesini sağlayan bir voksel haritasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanıcıdan alınan hareket verilerine göre oluşturulan vokseli yapının her vokseline karşılık gelen eş-hücrelerinin bulunması, ağaç veri yapısının oluşturulması ve son olarak da yürüyen küpler algoritmasının uygulanması gerekmektedir.

4.2.1. Vokselleme literatürü

Vokselleme mikro ölçekteki görüntüleme problemlerinin çözümlenmesinde gittikçe artan bir kullanım alanı bulmaktadır. Literatürde vokselleme yöntemi kullanılan çalışmalara bakıldığında tıp/dişçilik [124-134], heykeltıraşlık [135-141] ve mühendislik [142-146] alanları çok sık görülmektedir.

Nuber ve arkadaşları tıbbi görüntülemelerde voksel yapısını kullanarak dokuların renkli görüntülenmesi ile hızlı kavranılır hale geldiğini belirtmişlerdir [124]. Agus ve arkadaşları tarafından haptik cihaz kullanarak kemik delme operasyonu gerçekleştirilen çalışmada vokselenmiş CT/MRI verisi üzerinde işlem yapılmıştır [125]. Benzer şekilde, Lai ve arkadaşlarının kemiğin mikro yapısı üzerine çalışmasında [126] kemik yapısının detaylarının artmasının önemine vurgu yapılmış, Eriksson ve arkadaşları da cerrahların kafatası kemiği operasyonlarını daha kolay gerçekleştirebilmeleri için operasyon öncesi eğitim amaçlı kullanılmak üzere çözünürlüğü yüksek hacimsel veri kullanan sanal bir eğitim simülatörü tasarlamışlardır [127, 128].

Chevalier ve arkadaşları kemiğin süngerimsi yapısını voksel yapısı kullanan sonlu elemanlar metodu ile oluşturup bu kemiğin hacmini incelemişlerdir [129]. Altıntaş da çalışmalarında MR görüntü verilerini vokselleyerek ve sonlu elemanlar metodu kullanarak kemik dokularını diğer dokulardan ayırmıştır [130, 131].

Kemik dokusunu vokselleme yöntemiyle inceleyen bir diğer çalışmada Niu [132], kemik cerrahisinin simülasyonu ve görüntülenmesi için geliştirdiği görüntü işleme, geometrik modelleme ve veri yönetimi tekniklerini açıklamış, hacim modellemesi için vokselleme yöntemini kullandığını belirtmiştir.

Duriez ve Syllebranque tarafından önerilen diş simülasyonu çalışmasında, çene kemiği, bilgisayarlı tomografi verisi kullanılarak modellenmiştir. Vokselenmiş çene kemiği üzerine delik açmak amacıyla da voksel temelli çarpışma tespit algoritması önerilmiştir [133]. Eriksson'da çalışmasında haptic cihaz ile cerrahi frezeleme işleminde [134] vokselenmiş hacim çıkarımından kaynaklanan değişimleri gerçek zamanlı gerçeklemiştir.

Modelleme ve tasarım alanlarında eğitim amaçlı önerilen birçok sanal heykeltıraşlık çalışması bulunmaktadır. Ferley [135, 136], Raffin [137], Ho [138] ve Heurtebise'nin [139] sanal heykeltıraşlık konulu çalışmalarındaki modeller vokseller kümesi olarak çok çözünürlüklü bir şekilde önerilmiştir. Örneğin Ferley, bir vokselin 26 parçaya bölüdüğü bir yapı önererek detay seviyesi yüksek olan vokseli modeller oluşturmuştur.

Williams ve diğerleri tarafından 3-boyutlu sanal bir cisim yontabilmek için vokseli yapı üzerinde hacim eksiltme işlemi yapılmıştır [140]. Çalışmada, tomografi görüntülerinden alınan veriler kullanılarak vokselleştirilmiş modeller oluşturulmuştur. Çalışmada, modelin eş yüzeyini oluşturmak için de voksellerden üçgen ızgaralar elde edilmiştir. O'Neill ve diğerleri Williams'ın çalışmasına, haptic cihaz ile nesne yüzeyine dokunarak yapılan yontma işlemini eklemiştir [141]. Çit'de sanal heykeltıraşlık sistemi çalışmasında, üzerinde işlem yapacağı modelleri vokselleyerek gerçek zamanlı yontma işlemi gerçeklemiştir [32]. Aynı çalışmanın devamı olarak 3 boyutlu üçgen tabanlı modellerin vokselleştirme sürecinin hızlandırılması amacıyla OpenCL kütüphanesi kullanılmış ve işlem zamanı kısaltılmıştır [145].

Nourian ve arkadaşları mekansal uygulamalar için vokselleme algoritmalarını incelemiş, 3B şehir modellerinin veri setlerinden yüzey, eğri ve nokta veri modellerini içeren voksel haritalama yöntemlerinin artılarını tablolamışlardır [146].

Bu tez çalışmasında da kullanıcının el hareketleri sensörler aracılığıyla incelenerek kaynak şeklini oluşturacak voksel haritası oluşturulmaktadır. Voksel haritası kullanılarak kaynak dikişini temsil edecek üçgen kafes modeli elde edilmektedir. Vokselleme işlemiyle ortaya çıkan 3 boyutlu voksel haritasında, her voksele karşılık gelen eş-hücreler elde edilmiş sonrasında da hash-temelli sekizli-ağaç veri yapısı oluşturularak ilgili voksellerin kontrolü sağlanmıştır.

4.2.2. Voksel

Vokselleme, “hacim odaklı yaklaşımlar” [147-150] ve “yüzey odaklı yaklaşımlar” [151-153] olmak üzere ikiye ayrılabilir. Hacim odaklı yaklaşımlar, 3 boyutlu nesnelerin yüzey bilgilerini içerdiği gibi iç kısım bilgisini de içermektedir.

Yüzey bilgisinin miktarı cismin yüzeyi ile orantılı iken hacim bilgisi miktarının da cismin uzayda kapladığı yer ile orantılı olduğu düşünülürse her iki yaklaşımın hafıza alanı kullanımı miktarları tahmin edilebilir. Yüzey bilgisi genelde hacim bilgisinden daha az yer tutar ve daha kolay görüntülenebilir. Bu noktada, 3 boyutlu bir cismin modellenmesinde kullanılacak yaklaşımın amaca uygun seçilmesi önem arz etmektedir [146].

3 boyutlu uzayda bir modeli çevreleyen en küçük hacme "kaplayan hacim" denir ve bilgisayar grafikleri alanında çarpışma tespiti işlemlerinde kullanılır. Başlıca dört çeşit kaplayan hacim yöntemi bulunmaktadır [154, 155]. Bunlar slab, eksen-hizalı kaplayan hacim (Axis-Aligned Bounding-Box), yönlü kaplayan hacim (Oriented Bounding-Box) ve küre (sphere) dir. Bu çalışmada, hesaplama maliyetinin düşük olması ve vokselenmiş modellere uygunluğu nedeniyle [145, 146] eksen-hizalı hacim yöntemi kullanılmıştır. 3B uzay içinde bir vokselin değeri 0 veya 1 ile gösterilir. Eğer voksel dolu ise “1”, değil ise “0” olarak gösterilir. Üçgen kafes bir

modeli kaplayacak hacmi bulacak olan “AABB_hesapla” isimli fonksiyonun algoritması Şekil 4.13.’de görülmektedir.

1. Modelin her üçgeni için:
 - a. x, y ve z eksenleri için minimum noktaları bul
 - b. x, y ve z için minimum noktaları ata
 - c. x, y ve z eksenleri için maksimum noktaları bul
 - d. x, y ve z için maksimum noktaları ata
2. Her üçgen için tekrarla.

Şekil 4.13. Üçgen kafes modeli için AABB_hesapla algoritması

Bu tez çalışmasında sanal kaynak uygulamasında görüntülenecek 3B modelin iç hacim bilgisini elde etmek amacıyla üçgen ızgara yüzey modeli voksel odaklı hacim verisi ile vokselenmiştir. Vokselleme işlemi ile elde edilecek olan hacimsel bilgi, yüksek işlem yükünü azaltmak için uygulama esnasında kullanılmayacağından, üçgen ızgara yüzey modeli ikili vokselleme yöntemi ile elde edilmiştir. İkili voksel bilgisine ulaşmak için kullanılan sözde kod Şekil 4.14.’de gösterilmiştir.

1. Üçgen kafes modelin eksen hizalı kaplayan hacmini hesapla,
2. Kaplayan hacim içinde istenilen çözünürlüğe göre 3B voksel ızgarası oluştur ve bu hacim içindeki tüm voksellere 0 değerini ata.
3. Yüzeyi oluşturacak voksellere 1 değerini atayarak yüzey vokselleme yap (kesisim_testi())
4. İstenirse yüzey altındaki voksellere 1 değerini atayarak hacmi doldur (hacim_doldur()).

Şekil 4.14. 3B üçgen kafes modelinden hacimsel ikili voksel veri kümesi elde etmek için gerçekleştirilen algoritmanın sözde kodu [156]

“kesisim_testi” isimli fonksiyon, üçgen ızgara model yüzeyinin voksel noktalarının hesaplandığı kısımdır. Bu fonksiyonun algoritması Şekil 4.15.’de görülmektedir.

1. İlgili voksel ve üçgeni, vokselin merkezi koordinat düzleminin merkezi olacak şekilde taşı,
2. Üçgenin normal düzlemi ile vokselin kesişimini test et,
3. Üçgenin kenarları ile voksel yüzeylerinin izdüşümlerinin kesişimini test et.

Şekil 4.15. Voksel / Üçgen kesişim testi algoritması [156, 157]

Bu tezde kullanılan Voksel / Üçgen kesişim testi algoritmasında voksel ile üçgenin kesişip kesişmediğine karar vermek için, iki nesne arasında ayıran bir eksen olup olmamasına bakılır. Eğer ayıran bir eksen var ise bu iki model çakışmıyor denir.

Kullanılan Voxel / Üçgen kesişim testi algoritmasının paraleleştirmeye uygun oluşu çalışma süresinin kısaltılabilmesine imkân tanımıştır. Çalışma zamanı süresi çok-iş-parçacıklı (çok-iplikli) programlama yöntemiyle azaltılmıştır [158].

Tablo 4.4.'de, sanal kaynak uygulamasıyla oluşturulan 1 cm genişliğinde ve 0,5 cm yüksekliğinde örnek bir parabolün yüzey vokselleme süreleri verilmiştir. Bu tablodaki vokselleme süreleri parabolün çözünürlüğü ve iş-parçacığı sayısına göre hesaplanmıştır. Sürelerin hesaplandığı bilgisayar 4 çekirdekli olup 8 iş-parçacıklıdır. İş-parçacığı sayısı arttıkça vokselleme işlem süresi azalmaktadır.

Tablo 4.4. Örnek bir parabolün farklı iş-parçacığı sayılarına ve çözünürlüğe göre yüzey vokselleme süreleri

Çözünürlük	Voxel Sayısı	Yüzey Vokselleme İşlem Süresi (ms)			
		İş Parçacığı Sayısı			
		1	2	4	8
256x256x256	140	0,232	0,171	0,154	0,142
512x512x512	280	0,505	0,328	0,296	0,268
1024x1024x1024	560	0,904	0,626	0,579	0,535

Tablo 4.5.'de, sanal kaynak uygulamasıyla oluşturulan toplam 10 cm uzunluğundaki örnek bir kaynak dikişinin yüzey vokselleme süreleri verilmiştir. Bu tablodaki vokselleme süreleri parabol sayısı, çözünürlük ve iş-parçacığı sayılarına göre hesaplanmıştır. Sürelerin hesaplandığı bilgisayar 4 çekirdekli olup 8 iş-parçacıklıdır. İş-parçacığı sayısı arttıkça vokselleme işlem süresinin azaldığı görülmektedir.

Tablo 4.5. Örnek bir kaynak dikişi için parabol sayısı, çözünürlük ve farklı iş-parçacığı sayılarına göre toplam yüzey vokselleme süreleri

Parabol Sayısı	Çözünürlük	Yüzey Vokselleme İşlem Süresi (ms)			
		İş-Parçacığı Sayısı			
		1	2	4	8
85	256x256x256	19,84	14,64	13,21	12,27
172	512x512x512	86,68	56,90	50,98	46,23
344	1024x1024x1024	311,08	216,24	199,16	184,74

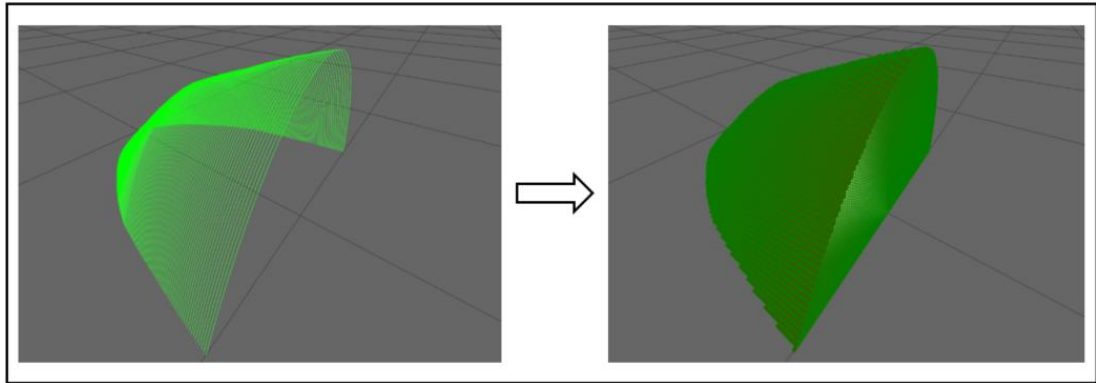
Bilgisayar grafiklerinin temel algoritmalarından biri olan Seed-Filling hacim doldurma algoritması [159], verilen bir noktadan başlayarak ilgili modelin içini

doldurmaya yarayan bir yöntemdir. Yüzeyi vokselenmiş 3 boyutlu bir nesnenin iç hacminde rastgele seçilen vokselde işlem başlar ve bu vokselin komşu voksellerine sırayla uğranarak ilgili nesnenin hacmi doldurulur. Voksellerin koordinatlarını tutmak için yığın yapısı kullanılır. Şekil 4.16.'de 3 boyutlu bir modelin hacmini dolduran hacim_doldur() isimli algoritmanın sözde kodu görülmektedir.

1. Izgaranın merkezi olarak belirlenen hücre konumunu boş yığına ekle,
2. Yığın boş olmadığı sürece hücrenin x koordinatını sakla ve sol mesafesini doldur,
3. Sağ uç vokselin x koordinatını sakla, yeni x koordinatını ata ve sol mesafesini doldur.

Şekil 4.16. Hacim doldurma algoritmasının sözde kodu

Şekil 4.17.'de örnek bir kaynak dikişi parçasının parabol ve voksel çizimleri gösterilmiştir. Bu şekilde kaynak dikişine nasıl hacim kazandırıldığı görülmektedir.



Şekil 4.17. Kaynak dikiş parçasının parabol ve voksel görünüşleri.

İç hacim doldurma işleminde yine çok-iş-parçacıklı programlama yöntemi kullanılarak işlem süresi azaltılabilir. Tablo 4.6.'da yine 1 cm genişliğinde ve 0,5 cm yüksekliğinde örnek bir parabolün iç hacim vokselleme süreleri verilmiştir. Bu tablodaki vokselleme süreleri çözünürlük ve iş-parçacığı sayılarına göre hesaplanmıştır. Sürelerin hesaplandığı bilgisayar 4 çekirdekli olup 8 iş-parçacıklıdır. Tablo incelendiğinde, iş-parçacığı sayısı arttığında işlem süresinin azaldığı görülmektedir.

Tablo 4.6. Örnek bir parabolün farklı iş-parçacığı sayılarına ve çözünürlüğe göre hacim vokselleme süreleri

Çözünürlük	Voksel Sayısı	Hacim Vokselleme İşlem Süresi (ms)			
		İş Parçacığı Sayısı			
		1	2	4	8
256x256x256	2208	2,48	1,46	0,90	0,80
512x512x512	8664	4,63	2,82	1,72	1,51
1024x1024x1024	30894	9,77	5,71	3,48	3,09

4.3. Sekizli Ağaç Veri Yapısı

Nesnelerin içinde bulunduğu uzayların farklı derinliklerdeki alt uzaylara bölünerek işlem yükünün düşürüldüğü algoritmalara uzay bölümlenme algoritmaları denilmektedir. Literatürde sık kullanılan uzay bölümlenme algoritmaları; dörtlü ağaç (QuadTree), sekizli ağaç (Octree) ve ikili uzay bölümlenmesi (BSP-Tree) algoritmalarıdır. Dörtlü ağaç veri yapısında uzay, her seferinde 4 eşit alt uzaya bölünür. Sekizli ağaç yapısı; dörtlü ağaç veri yapısının 3 boyutlu uzaya uyarlanmış durumudur. İkili uzay bölümlenme algoritması da uzayı 2 alt uzaya bölen ve düzlem için herhangi bir geometrik kıstasın olmadığı veri yapısıdır. Geometrik kıstasın olmayışı arama esnasında zaman maliyetine neden olmaktadır [160, 161].

Niu çalışmasında [132] kemik dokusunu voksellerken, uygulama karmaşıklığını, bellek depolama alanını ve hesaplama ek yükünü göz önüne alarak, gerçek zamanlı görselleştirme elde etmek için hesaplama süresini azaltmak amacıyla dörtlü ağaç yapısını kullanmıştır.

Barentzen'in çalışmasında [162] ve ayrıca Ho ve diğerlerinin çalışmasında [138] daha az hafıza kullanımı ile yüksek çözünürlüklü voksel hacim verilerinin tutulması amacıyla sekizli ağaç veri yapısını önerilmiştir. Barentzen çalışmasında model olarak küre kullanmış ve bu küre üzerinde hacim çıkarma ve ekleme işlemleri gerçeklemiştir. Benzer bir şekilde bir uzay topuyla etkileşime geçmek için fare ve klavyenin kullanıldığı diğer bir çalışmada, hafıza kullanım maliyetini azaltmak amacıyla sekizli ağaç veri yapısı kullanan bir yöntem önerilmiştir [137]. Burada modellenen cisim heykel olup sekizli ağaç veri yapısı ile kodlanmıştır.

Agus'un çalışmasında, vokselleniş CT/MRI verisi kullanılarak kemik üzerinde işlem için hafızada verimi artırmak amacıyla sekizli ağaç veri yapısı tavsiye edilmiştir [125]. Aynı şekilde Eriksson ve arkadaşları da kanser hücrelerinin alınması gibi zor kafatası kemiği ameliyatlarını gerçekleştirebilmek için cerrah operatörlerini eğitmek maksatlı geliştirdikleri simülatörde [127, 128] kullandıkları hacimsel veriyi sekizli ağaç yapısı kullanılarak saklamışlardır.

Çit ve arkadaşları gerçek zamanlı etkileşimi hızlandırmak maksadıyla işaretçi-tabanlı sekizli ağaç veri yapısı yerine her düğümün bir hash tablosuna kaydedildiği bir heykeltraşlık uygulaması önermişlerdir [163]. Çit geliştirdiği bir sonraki gerçek zamanlı sanal heykeltıraşlık sistemi çalışmasında [156], hash-tabanlı sekizli ağaç yapısını optimize ederek kullanmış ve önerdiği yaklaşımla işaretçi-tabanlı sekizli ağaç yapısını kıyaslamıştır. Önerdiği yöntemle eş-yüzey oluşumunu daha kısa sürede tamamladığını belirtmiştir.

Literatürde en sık kullanılan sekizli ağaç yapılarına bakıldığında doğrusal, işaretçi-tabanlı ve hash-tabanlı ağaç yapıları görülmektedir [164-166]. Doğrusal sekizli ağaç yapısında düğümlerin tutulduğu yapının tek boyulu olmasından dolayı herhangi bir düğüme varmak ya da düğümler arası dolaşmak zaman açısından masraflı bir işlemdir. İşaretçi-tabanlı yöntemde ebeveyn düğüm, sekiz adet çocuk düğümün adreslerini tutmak zorundadır. Aranılan düğüme ulaşma konusunda bu iki yöntemi kıyasladığımızda, işaretçi-tabanlı yöntem daha hızlı ve aynı zamanda daha kolaydır. Hash-tabanlı yöntemde ise düğümün kendi değeri kullanılarak bir yerleştirme yapılır. Bu değerın diğer ismi "anahtar" olup, ilgili düğümün ağaçtaki yerini gösteren ikili koddur. Bu durumda, düğümlere ulaşmak için işaretçi-tabanlı yapının hiyerarşisi içinde dolanmak yerine hash tablosunda tutulan indise bakmak daha kolay olacaktır.

Bu çalışmada, voksellenen kaynak hacim verisini saklamak için Çit'in optimize ettiği hash tabloları kullanılmıştır. Ağaçta dolanım, aşağıdan-yukarıya yani bir seviyenin dolaşılmasından sonra bir üst seviyeye geçilerek yapılır. Bu yolla, hash tablomuzdaki indislerin başına ilgili voksellere karşılık gelen çocuk düğümlerden en altta olanların yerleşmesi sağlanmış olur.

4.4. Yürüyen Küpler Algoritması

3-boyutlu hacim verisinin yüzey görüntülemesi için üçgenlerden oluşan yapılar kullanılmaktadır. Genelde 2 tür üçgenleme metodu bulunmaktadır. Bunlar Delaunay Üçgenleme ve Yürüyen Küpler algoritmalarıdır [167]. Yürüyen Küpler algoritması Voronoi diagramları kullanan Delaunay üçgen yüzey belirleme algoritmasından daha basit bir yapıdadır [168]. Yürüyen Küpler algoritmasında izlenen yöntem, hacimsel küp verisinden bir okuma (lookup) çizelgesi oluşturarak üçgenler meydana getirmektir. Yüksek bir hesaplama yükü gerekmez. Voronoi diagramlarının 2 boyutta Yürüyen Küpler algoritması ile benzer sonuçlar verdiği ancak 3 boyutlu uygulamalarda performansının daha düşük olduğu belirtilmiştir [169]. Geliştirilen algoritmaları inceleyen diğer çalışmalara bakıldığında da uygulamadaki kolaylığı nedeniyle en sık tercih edilen tekniğin Yürüyen Küpler algoritması olduğu belirtilmektedir [170-174].

Tomografi verilerinin görüntülenmesi amacıyla Lorensen ve Cline tarafından geliştirilen bu algoritma [33] vokselenmiş yüzeylerden üçgen kafes yüzeylere geçiş için kullanılmaktadır. Algoritmada düzgün yapıdaki hacim verisi içindeki her bir voksel birbirinden bağımsız olarak ele alınır. Çok yaygın olarak kullanılan bu deterministik algoritma [172] sayesinde büyük miktardaki veri çok kısa sürede ve etkileşimli olarak görüntülenebilmektedir [173]. Yürüyen Küpler algoritması sanal heykeltıraşlık [136, 175, 163], deforme olabilen modelleme [176, 177], dinamik ve mekanik [178], biyotıp [179, 180] ve doğa olaylarının görselleştirilmesi [181] dahil olmak üzere birçok alanda uygulanmıştır.

Literatürde Yürüyen Küpler algoritmasının kullanıldığı gerçek-zamanlı sanal heykeltıraşlık sistemleri önerilmiştir [136, 175]. Önerilen bu sistemlerde, kesme, doldurma, yontma ve boyama gibi işlemler gerçekleştirilebilmektedir. Çit'in haptic cihaz kullanarak yontma yaptığı heykeltıraşlık sisteminde de yine Yürüyen Küpler algoritması kullanılmıştır [163].

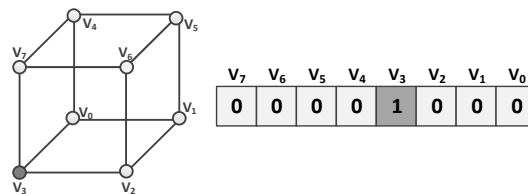
Wang ve Huang çalışmasında, jeolojik nesnelere ve mekânlar tanımlamada ve mineral kaynakların görüntülenmesinde 3 boyutlu bir jeolojik modelleme programını geliştirmişlerdir [182]. Ma ve diğerleri [183] Linux platformu üzerinde C programlama dilini ve OpenGL grafik kütüphanesini kullanarak Yürüyen Küpler algoritması ile moleküler yüzeylerin gösteriminde kaliteli görüntü elde etme üzerine çalışmışlardır.

Yürüyen Küpler algoritması, üç boyutlu model verilerinden skaler alan oluşturmak için böl ve işle yöntemiyle kesitler arasında poligonlaştırma mantığına dayanır. Voksellere karşılık gelen üçgenler oluşturulurken, voksele ait sekiz köşe noktası ve her köşe noktasına ait 0 ve 1 olmak üzere iki farklı değer bulunmasından dolayı 2^8 (256) durumda üçgen elde edilebilmektedir. Şekil 4.18.'de Yürüyen Küpler algoritmasının sözde kodu gösterilmektedir. Bu algorithmada hücre yani voksel giriş değerini gösterirken üçgenler ise algoritmanın çıkış değerlerini göstermektedir. Bu üçgenlere de eş-yüzey ismi verilmiştir.

1. Bir hücre seç.
2. Hücrenin her köşe noktasının içerde / dışarıda durumunu hesapla.
3. Her köşe noktasının ikili durumunu ayrı bir bitte saklayarak bir dizi oluştur.
4. Hücrenin konum durumuna bakmak için durum tablosundaki indisi kullan.
5. Durum tablosundaki her kenar için üçgen konumunu hesapla.

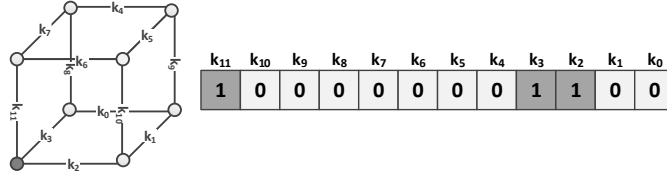
Şekil 4.18. Yürüyen Küpler algoritması

Yürüyen Küpler yöntemi iki adet durum tablosuna (lookup table) dayanır. Bunlar Şekil 4.19.'da verilen voksel köşe tablosu ve üçgen eş-yüzeyler için Şekil 4.20.'de verilen voksel kenar tablosudur.



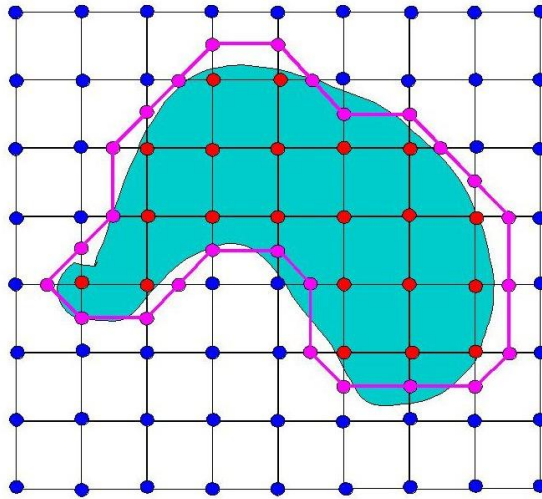
Şekil 4.19. Voksel köşe indis değeri hesaplama

Şekil 4.19.'daki örnek vokselin köşelerinden olan V_3 'ün indis değeri 8'dir. Şekil 4.20.'de örnek vokselin indis değerine bağlı kalarak oluşturulan üçgenlerin vokselin hangi kenarlarını keseceğini gösteren durumlarını ifade etmektedir. Bu tek boyutlu bir dizidir ve 256 durumu da içerir.



Şekil 4.20. Voksel kenar değeri hesaplama

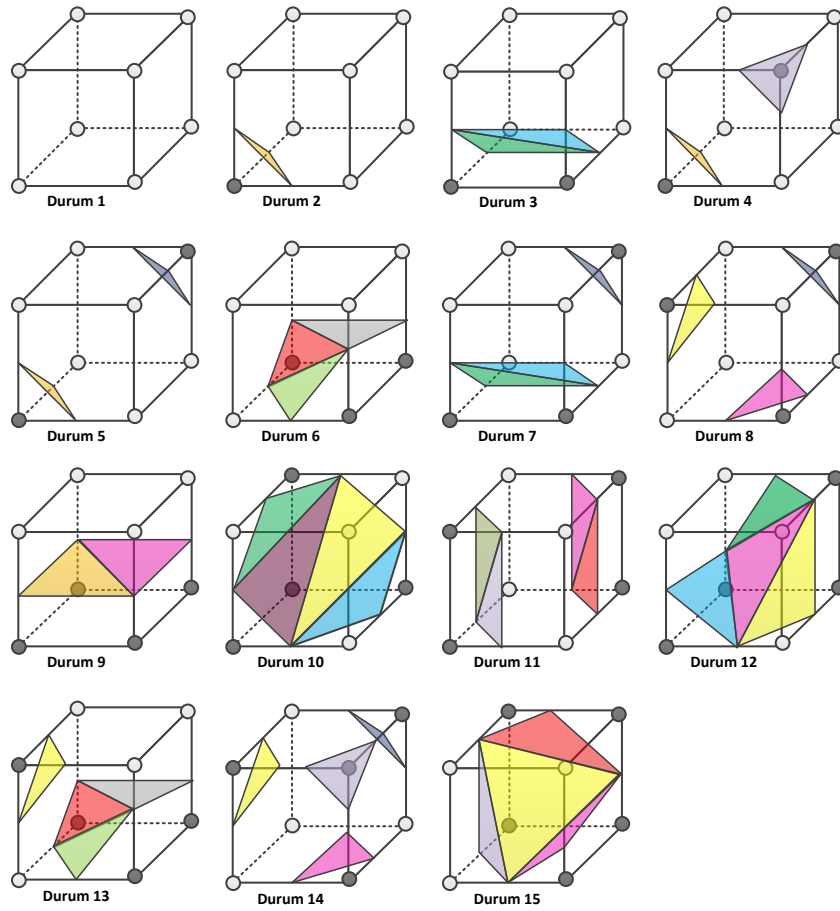
Burada, V_6 köşesine göre oluşturulacak üçgen, V_6 köşesini yani k_5 , k_6 , k_{10} kenarlarını kesmektedir. Bundan sonra bu kenar bilgisine karşılık gelen üçgenlerin verileri hesaplanarak gösterilmek üzere üçgen tablosuna kaydedilecektir. Şekil 4.21.'de Yürüyen Küpler yönteminin daha iyi anlaşılabilmesi için 8×8 çözünürlükte 2B gösterimi çizilmiştir.



Şekil 4.21. Yürüyen küpler yönteminin 2B gösterimi [173]

Yukarıdaki şekilde yeşil alan nesneyi, mavi noktalar nesne dışında kalan noktaları ve kırmızı noktalar ise nesne içinde kalan noktaları göstermektedir. Pembe noktalar da eş-yüzeyleri belirleyecek olan noktalardır. Algoritma sonunda bu pembe noktalar birleştirilerek eş-yüzeyli şekil oluşturulmuş olur.

Yapılan çalışmalar [184, 185] 256 üçgen durumunu, üçgenlerin benzerlik ve simetrilerinden dolayı Şekil 4.22.'de görülen 15 duruma indirgeyerek kullanım kolaylığı sağlamışlardır. 3 boyutlu hacimsel verilerden eş yüzey çıkartımı yoluyla yüzey modellemesi yapılan bu teknik ile oluşturulan üçgen yüzeyler sayesinde hesaplanacak veri miktarı azaltıldığından, yüksek işlem gücü gereksinimi ve performanslı donanım ihtiyacı ortadan kalkmaktadır.



Şekil 4.22. Yürüyen Küpler algoritması için temel 256 durumun indirgenmiş 15 kalıp [184, 156]

Eş-yüzey oluşturma işleminde de vokselleme işleminde olduğu gibi yine çok-iş-parçacıklı (çok-iplikli) programlama yöntemi çalışılmıştır [186]. Bu çalışmalar sonucunda çok-iş-parçacıklı yöntem kullanılarak eş-yüzey üçgen oluşturma işlem süresi kısaltılmıştır. Tablo 4.7.'de 10 cm uzunluğunda örnek bir kaynak dikişinde yürüyen küpler üçgen oluşturma süreleri verilmiştir. Bu tablodaki eş-yüzey oluşturma süreleri parabol sayıları, çözünürlükleri ve iş-parçacığı sayılarına göre hesaplanmıştır. Sürelerin hesaplandığı bilgisayar 4 çekirdekli olup 8 iş-parçacıklıdır.

Tablo 4.7. Örnek bir kaynak dikişi için parabol sayısı, çözünürlük ve farklı iş-parçacığı sayılarına göre Yürüyen Küpler algoritması işlem süreleri

Parabol Sayısı	Çözünürlük	Yürüyen Küpler Algoritması İşlem Süresi (ms)			
		İş-Parçacığı Sayısı			
		1	2	4	8
85	256x256x256	24,58	17,84	15,81	15,22
172	512x512x512	104,65	67,91	61,32	55,87
344	1024x1024x1024	381,07	266,38	240,12	219,64

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tezde, kaynak işlemleri için tasarladığımız sanal kaynak simülasyonunda kullanılmak üzere kaynak dikiş modeli önerilmiştir. Bu model ile, üç boyutlu kaynak dolgusu gerçeğine yakın bir şekilde sanal ortamda oluşturulabilmektedir. Bu modelin oluşturulması için gerekli olan grafik motoru yazılımı tez kapsamında gerçekleştirilmiş olup grafik için ayrıca bir ticari oyun motoru kullanılmamıştır. Bu durum sanal kaynak simülasyonuna maliyeti düşüren bir katkı yapmıştır. Ayrıca, bu yazılım farklı amaçlı simülasyonlara uyarlanarak da kullanılabilir.

Sanal kaynak simülasyonu donanımını yönetmek ve kaynak dikiş modelini üretmek üzere gerçekleştirilen yazılım, C++ dili ve OpenGL grafik kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiştir. Sonuçlar, 4 çekirdekli Intel i7 5700HQ 2.7 GHz işlemciye ve 8 GB RAM'e sahip olan 64 bit Windows 10 işletim sistemi ile yönetilen bir bilgisayar kullanılarak elde edilmiştir.

Literatürde kaynak dolgusu oluşumunu anlatan çalışmalar incelendiğinde dolgunun erime ve katılma sürecinde iş parçacıklarının cinsi, elektrotun cinsi, akım, gerilim, kaynak hızı, kaynak açısı, ark mesafesi gibi çok fazla parametre oluşu gerçekleşen olayın matematiğini zor bir hale getirmektedir. Bu çalışmada kaynak dolgusunun oluşumunda erime-katılma dönüşümü ve nüfuziyet hesaplamaları yapılmamıştır. Bu hesaplamalar ağır bir işlem yükü getireceğinden uygun matematiksel modellerin hesabı için disiplinler arası çalışma gerekmektedir. Ayrıca dolgu iç kısmını 3 boyutlu modelleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Bu noktada, gerçek kaynak işlemleri sonucu oluşan kaynak dikiş kesit verileri incelenip yapay zekâ yöntemlerinden birisi olan yapay sinir ağı ile modellenerek kaynak dolgusu öngörüsü yapılmıştır. Bu çalışmada, literatürdeki gerçek kaynak dikiş çalışmalarından elde edilen veriler yapay sinir ağına eğitilmiş ve oluşturduğumuz sanal kaynak simülasyonunun kaynak dikiş sorgu ünitesinde kullanılmıştır.

Sanal kaynak işlemi, torc üzerine monte edilen konum sensöründen gelen verileri alarak başlar ve kaynak dikişinin genişlik, yükseklik ve nufuziyet büyüklüklerinin ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı kullanılarak belirlenmesiyle devam eder. Bu büyüklükler kaynak dolgusu temel şekli olarak belirlenen parabole ait formüldeki değerlerin bulunmasında kullanılmıştır. Parabole ait değerler bulunduğu an, aynı zaman aralığında voksel haritası çıkarılmış ve bu verinin saklanırken hafıza maliyetini düşürmek amacıyla bu voksel haritasına karşılık gelen hash tabanlı sekizli ağaç veri yapısı da oluşturulmuştur.

Voksellenen veriler kullanılarak, kaynak dolgusunun üçgenlerden oluşan eş yüzeyleri, yürüyen küpler algoritması ile yeniden oluşturulmuştur. Bu sayede daha gerçekçi kaynak dikiş görüntüleri elde edilmiştir. Bu görüntü ve sanal sahne devamlı olarak başa takılan ekrana yollanarak sanal ortam içindeki gerçeklik hissi devam ettirilmiştir.

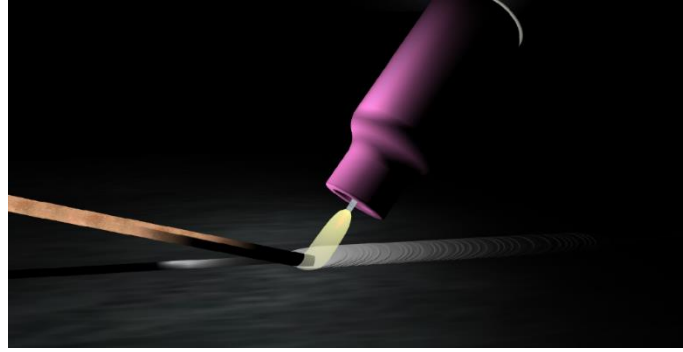
Vokselleme ve eş yüzey oluşturma işlemleri için yüksek çözünürlüklü sanal sahnelerde işlem süresini kısaltmak amacıyla çok iş-parçacıklı programlama tekniği önerilmiştir. Farklı iş-parçacığı sayıları için yüzey vokselleme, hacim vokselleme ve eş yüzey oluşturma süreleri de gösterilmiştir. Bu tablolar incelendiğinde iş-parçacığı sayısının artırılmasının işlem sürelerini azalttığı görülmüş ancak 8 iş-parçacıklı işlemlerdeki azalma miktarının beklenenin altında kaldığı saptanmıştır. Bunun nedeni iş-parçacıkları arasındaki haberleşme trafiğidir.

Genele bakıldığında ise çok-ış-parçacıklı programlamanın kaynak dikiş çizimini gerçek zamanlı uygulamalar için daha da uygun hale getirdiği görülmüştür. Gerçek zamanlı görüntülerin saniyede 30-60 çerçevesel bir gösterime sahip olması gerektiği düşünülürse 1 çerçeve 16,7 ms – 33.3 ms'lik sürelerin altında çizilmelidir. Tablo 5.1'de görüldüğü üzere 1 parabol için toplam çizim süresi gerçek zamanlı görüntü kriterlerine uymaktadır.

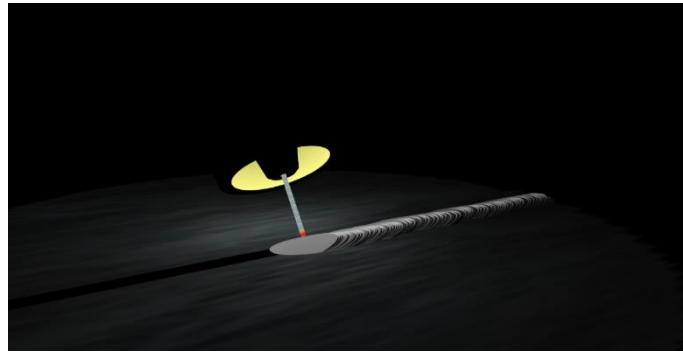
Tablo 5.1. Bir parabol için toplam çizim süresi

Çözünürlük	Voksel Sayısı	1 Parabol İçin Toplam İşlem Süresi (ms)			
		İş Parçacığı Sayısı			
		1	2	4	8
256x256x256	140	3,00	1,84	1,22	1,12
512x512x512	280	5,75	3,54	2,38	2,10
1024x1024x1024	560	11,78	7,10	4,76	4,27

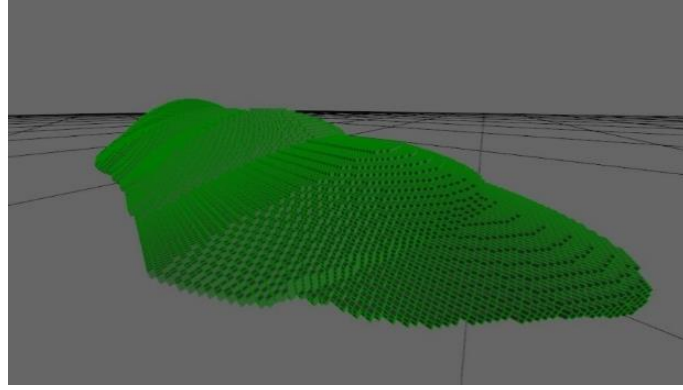
Şekil 5.1.'de TIG kaynak işlemi ekran görüntüsü, Şekil 5.2.'de de MIG Kaynak işlemi ekran görüntüleri yer almaktadır. Yapılan sanal kaynak işlemi sonucu oluşan kaynak dikişi 3 boyutlu olarak incelenmek istendiğinde karşımıza çıkacak olan vokseli kaynak dikişi görüntüleri de Şekil 5.3. ve Şekil 5.4.'te gösterilmiştir.



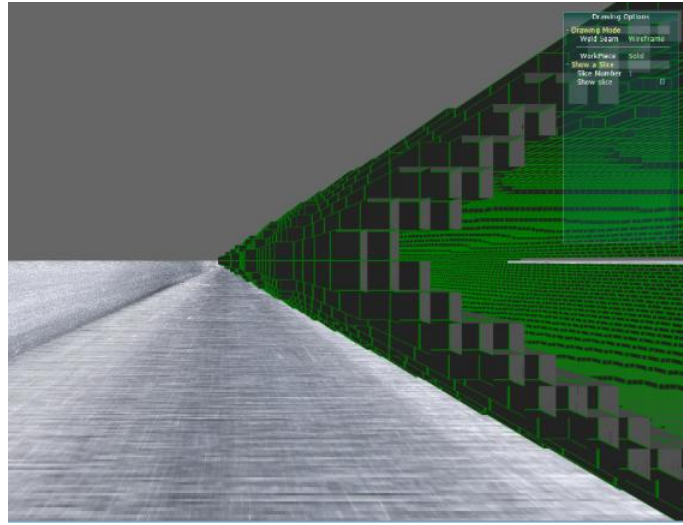
Şekil 5.1. TIG kaynak işlemi ekran görüntüsü



Şekil 5.2. MIG kaynak işlemi ekran görüntüsü



Şekil 5.3. Voksellenmiş kaynak dikişinin üstten görünümü



Şekil 5.4. Voksellenmiş kaynak dikişinin yandan görünümü

Bu çalışmada önerilen vksel temelli 3-boyutlu yapı, özellikle tıp ve diş cerrahisi çalışmalarında eğitim amaçlı kullanılması amacıyla tasarlanacak olan simülatorlerde kesme, dikme, yontma gibi sanal işlemler için kullanılabilir. Gerçekleştirilen modelde parabol yerine paraboloid ve vksel yapısı yerine de düzgün dörtyüzlüler kullanılarak sonuçların karşılaştırılması ve geliştirilmesi de hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Aslanlar, S., Kaynak Teknolojisi ve Uygulamaları. Elektrik Ark Kaynak ve Gaz Eritme Kaynak Teknolojisi Ders Notu, Sakarya Üniversitesi, 2009.
- [2] http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Dikey%20Kaynaklar.pdf, Erişim Tarihi: 06.12.2013.
- [3] Öz, C., Serttaş, S., Ayar, K., Sanal Kaynak Simülatöründe Kullanıcı Etkileşimi. Akademik Bilişim 2011, XIII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri., Malatya, 765-770, 2011.
- [4] Tepe, T., Kaleci, D., ve Tüzün, H., Eğitim teknolojilerinde yeni eğilimler: Sanal gerçeklik uygulamaları. 10th International Computer Education and Instructional Technologies Symposium Proceedings, Rize, 547-555, 2016.
- [5] Ellis, S.R., Nature and Origin of Virtual Environments: A Bibliographic Essay, Computing Systems in Engineering., 2(4), 321-347, 1991.
- [6] Astheimer, P., Dai, F., Göbel, M., Kruse, R., Müller, S., Zachmann, G., Realism in Virtual Reality, in: Magnenat Thalmann N and Thalmann D. Artificial Life and Virtual Reality, John Wiley, 189-209, 1994.
- [7] Slater, M., Usoh, M., Body Centred Interaction in Immersive Virtual Environments. Magnenat Thalmann N and Thalmann D, Artificial Life and Virtual Reality. John Wiley, 125-147, 1994.
- [8] Craig A.B., Sherman, W.R., Will, J.D., Developing Virtual Reality Application: Foundation of Effective Design. Morgan Kaufmann Publication, Elsevier, 2009.
- [9] Franson, D., Thomas, E., Game Character Design Complete, Using 3ds Max 8 And Adope Photoshop cs2, ISBN-13: 978-1-59863-270-5, Thomson, 2007.
- [10] Piemental, K., Teixeira, K., Virtual Reality: Through the New Looking Glass. Intel/McGraw-Hill Press, New York, 1995.

- [11] Sherman, W.R., Craig A. B., Understanding Virtual Reality. Elsevier Science, Ünite 1, 3-4, USA, 2003.
- [12] Fellmann, T., Kavakli, M., VaiR: System Architecture of a Generic Virtual Reality Engine. International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce., 2, 501-506, 2005.
- [13] Sampaio, Z., The Use of Virtual Reality Models in Civil Engineering Training. International Journal of Simulation Modelling., 6, 124-134, 2007.
- [14] Jin, D., Yan, F., Ito, Y., Applications of Virtual Reality to Civil and Architectural Engineering Projects. International Symposium on Innovation & Sustainability of Structures in Civil Engineering, 1-10, Shanghai, China, 2007.
- [15] <https://www.sussex.ac.uk/webteam/gateway/file.php?name=rce-white-press-ready.pdf&site=274>., Erişim Tarihi: 04.06.2015.
- [16] Anderson, E.F., McLoughlin, L., Liarokapis, F., Peters, C., Petridis, P., Freitas, S., Serious Games in Cultural Heritage. The 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, VAST - State of the Art Reports, 2009.
- [17] Ismaeel D., Al-Abdullatif A., The Impact of an Interactive Virtual Museum on Students' Attitudes Toward Cultural Heritage Education in the Region of Al Hassa, Saudi Arabia. International Journal of Emerging Technologies in Learning., 11(4), 32-39, 2016.
- [18] Liarokapis, F., Pujol-Tost, L., Killintzis, V., Sylaiou, S., Mania, K., Paliokas, I., Exploring the educational impact of diverse technologies in online virtual museums. International Journal of Arts and Technology., 10(1), 58, 2017.
- [19] Povroznik N., Virtual Museums and Cultural Heritage: Challenges and Solutions. Proceedings of the Digital Humanities in the Nordic Countries 3rd Conference, Helsinki, Finland, 2018.
- [20] Döker, M.F., Kırlangıçoğlu, C., Promotion of Cultural Heritages Through A Virtual Museum Platform: Case Study Hagia Sophia. Sakarya University Journal Of Science., 22(5), 2018.
- [21] Yolcu, G., Kazan, S., Oz, C., Real Time Virtual Mirror Using Kinect, Balkan Journal Of Electrical & Computer Engineering., 2, 2014.

- [22] Hauswiesner, S., Straka, M., Reitmayr, G., Virtual Try-On through Image-Based Rendering. *IEEE Transactions On Visualization And Computer Graphics.*, 19, 1552-1565, 2013.
- [23] Kotan, M., Öz, C., Virtual Dressing Room Application with Virtual Human Using Kinect Sensor. *Journal of Mechanics Engineering and Automation.*, 5, 322-326, 2015.
- [24] Sarıkoç, G., Use of Virtual Reality in the Education of Health Care Workers. *Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi*, 13(1), 11-15, 2016.
- [25] Srivastava, K., Das, R., Chaudhury, S., Virtual reality applications in mental health: challenges and perspectives. *Ind Psychiatry J.*, 23, 83-85, 2014.
- [26] Üzümcü, E., Akın, B., Nergiz, H., İnözü, M., Çelikcan, U., Virtual Reality for Anxiety Disorders. *Current Approaches in Psychiatry.*, 10(1), 99-117, 2018.
- [27] Kidd, L., Knisley, S.J., Morgan, K.I., Effectiveness of a Second Life Simulation as a Teaching Strategy for Undergraduate Mental Health Nursing Students. *Journal of Psychosocial Nursing.*, 50(7), 2015.
- [28] Jeffries, P., Rizzolo, M., NLN/Laerdal Project summary report: Designing and implementing models for the innovative use of simulation to teach nursing care of adults and children: a national multi-site study, 2006. <http://www.nln.org/docs/default-source/professionaldevelopment-programs/read-the-nln-laerdal-project-summary-reportpdf.pdf?sfvrsn=0.>, Erişim Tarihi: 15.06.2017.
- [29] Öz, C., Fındık, F., İyibilgin, O., Soy, U., Kıyan, Y., Serttaş, S., Ayar, K., Uslu, S., Yaşar, Y., Kaynakçı Eğitiminde Sanal Kaynak Simülatörü Kullanımı. *International Conference on New Trends in Education and Their Implications*, 2010.
- [30] Kaufman, A., Shimony, E., 3D Scan Conversion Algorithms for Voxel-Based Graphics. *Proc. ACM 1986 Workshop on Interactive 3D Graphics*, 45-76, 1986.
- [31] Feng, L., Soon, S. H., An Effective 3D Seed Fill Algorithm. *Computers & Graphics.*, 22(5), 641-644, 1998.
- [32] Çit, G., Ayar, K., Öz, C., A Real-Time Virtual Sculpting Application By Using An Optimized Hash-Based Octree. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences.*, 24, 2274-2289, 2016.

- [33] Lorenzen, W.E., Cline, H.E., Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm. *Computer Graphics.*, 21(4), 163-169, 1987.
- [34] Öz, C., Fındık, F., İyibilgin, O., Soy, U., Kıyan, Y., Serttaş, S., Ayar, K., Uslu, S., Yaşar, Y., Geçmişten Günümüze Kaynak Simülatörleri. *Metal Dünyası Dergisi*, 108-111, 2010.
- [35] Wu, C., Microcomputer-based welder training simulator. *Computers in Industry.*, 20, 321-325, 1992.
- [36] Wu, C., Wen, C., Wu, L., A microcomputer-controlled welder training system. *Computers Education.*, 20(3), 271-274, 1993.
- [37] Heston, T., Virtually welding. *The Fabricator*, 2008.
- [38] Hamide, M., Masoni, E., Bellet, M., Adaptive mesh technique for thermal metallurgical numerical simulation of arc welding processes. *Int. J. for Numerical Methods in Eng.*, 73, 624-641, 2008.
- [39] Palani, P.K., Murugan, N.; Modeling and simulation of wire feed rate for steady current and pulsed current gas metal arc welding using 317L flux cored wire. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 34, 1111-1119, 2007.
- [40] Denison, T.G., Arc welding simulator. US Patent No: 4.452.589, 1984. Schow, H.B., Macy, L.A., Arc welding simulator trainer. US Patent No: 3.867.769, 1975.
- [41] Blair, B.A., Device for teaching and evaluating person's skill as a welder. US Patent No: 4.124.944, 1978.
- [42] Paton, B.E., Vasiliev, V.V., ve ark., Electric-arc trainer for welders. US Patent No: 4.716.273, 1987.
- [43] Vasiliev, V.V., Sergei, N.D., ve ark., Spark trainer for welders. US Patent No: 4.689.021, 1987.
- [44] Schow, H.B., Welding simulator spot designator system. US Patent No: 4.132.014, 1979.
- [45] Top, Y., Simülasyon ve temrinle ark kaynakçısı yetiştirme programı, Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 1997.
- [46] Top, Y., Fındık, F., Ark kaynakçısının eğitiminde simülatör kullanımı. *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sakarya, 1998.

- [47] Mavrikios, D., Karabatsou, V., Fragos, D., Chryssolouris, G., A Prototype Virtual Reality-Based Demonstrator for Immersive and Interactive Simulation of Welding Process. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing.*, 19, 294-300, 2006.
- [48] Fast, K., Gifford, T., Yancey, R., Virtual Training for Welding. *IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Arlington*, 298-299, 2004.
- [49] White, S.A., Prachyabrued, M., Terrence, L.C., Borst, C.W., Reiners, D., Low-cost simulated MIG welding for advancement in technical training. *Virtual Reality.*, 15, 69-81, 2011.
- [50] Al-Sabur, R., Design and Construction of Virtual Welding Training System for the Shielded Metal Arc Welding. *The College of Engineering University of Basrah, Mechanical Engineering, Lisansüstü Tez*, 2013.
- [51] Bharath, V.G., Patil, R., Virtual Reality For Metal Arc Welding: A Review And Design Concept. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology.*, 8(1), 132-138, 2017.
- [52] Bharath, V.G., Patil, R., Motion Modeling of Virtual Reality Welding. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering.*, 3(8), 160-165, 2017.
- [53] Bharath, V.G., Patil, R., Solid Modelling Interaction with Sensors for Virtual Reality Welding. *Matec Web Conf*, 2018.
- [54] Da Dalto, L., Benus, F., Steib, D., Balet, O., CS WAVE: Learning Welding Motion in A Virtual Environment. *IIW International Congress Technological And Material Challenges In Welding, Fabrication And Inspection, Proceedings of IIW Conference.*, 52, 167-172, 2008.
- [55] Choquet, C., Arc+: Today's virtual reality solution for welders. In *International Conference of Safety and Reliability of Welded components in Energy and Processing Industry on the occasion of the 61st IIW Annual Assembly Conference*, 2008.
- [56] Choquet, C., ARC+® & ARC PC Welding Simulators: Teach Welders with Virtual Interactive 3D Technologies. *123 Certification Inc., Montreal, Quebec, Kanada*, 250-257, 2010.
- [57] <https://www.lincolnelectric.com/en-gb/equipment/training-equipment/vrtex360/Pages/vrtex-360.aspx>, Erişim Tarihi: 31.01.2014.

- [58] Kreindl, J., Virtual Welding – an innovative welding simulator conquers the market for initial and continuing welding training. *J-Global.*, 11(6), 373-375, 2012.
- [59] <http://www.digitalweld.co.nz/wp-content/uploads/2015/02/Virtual-Welding.pdf>, Erişim Tarihi: 20.03.2016.
- [60] Murugan, N., Gunaraj, V., Prediction and control of weld bead geometry and shape relationships in submerged arc welding of pipes. *Journal of Materials Processing Technology.*, 168, 478–487, 2005.
- [61] Jo, D., Kim, Y., Yang, U., Lee, G., Choi, J. S., Visualization of virtual weld beads. *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 269-270, Kyoto, Japan, 2009.
- [62] Ismail, M.I.S., Okamoto, Y., Okada, A., Neural Network Modeling for Prediction of Weld Bead Geometry in Laser Microwelding. *Advances in Optical Technologies*, 2013.
- [63] Shoeb, M., Parvez, M., Kumari, P., Effect of MIG Welding Input Process Parameters On Weld Bead Geometry On HSLA Steel. *International Journal of Engineering Science and Technology.*, 5(1), 200-212, 2013.
- [64] Xiong, J., Zhang, G., LinWu, H.G., Modeling of bead section profile and overlapping beads with experimental validation for robotic GMAW-based rapid manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing.*, 29, 417–423, 2013.
- [65] Trivedi, P.T., Bhabhor, A.P., Experimental Investigation of Process Parameters on Weld Bead Geometry for Aluminium Using GTAW. *International Journal of Science and Research*, 2014.
- [66] Cook, G.E., Barnett, R. J., Hartman, D.A., Strauss, A.M., Neural Network Systems Techniques in Weld Modeling and Control. Chapter to the Volume on Computer Aided and Integrated Manufacturing Systems Techniques and Applications, 1997.
- [67] Li, P., Fang, M.T.C., Lucas, J., Modelling of submerged arc weld beads using self-adaptive offset neural networks. *Journal of Materials Processing Technology.*, 71, 288-298, 1997.
- [68] Chan, B., Oacey, J., Bibby, M., Modelling Gas Metal Arc Weld Geometry Using Artificial Neural Network Technology A Survey. *Canadian Metallurgical Quarterly.*, 38, 43-51, 1999.

- [69] Gunaraj, V., Murugan, N., Prediction and comparison of the area of the heat-affected zone for the bead-on-plate and bead-on-joint in submerged arc welding of pipes. *Journal of Materials Processing Technology.*, 95, 246-261, 1999.
- [70] Kim, I.S., Son, K.J., Yang, Y.S., Yaragada, P.K.D.V., Sensitivity analysis for process parameters in GMA welding processes using a factorial design method. *International Journal of Machine Tools & Manufacture.*, 43, 763–769, 2003.
- [71] Palani, P.K., Murugan, N., Optimization of weld bead geometry for stainless steel claddings deposited by FCAW. *Journal of Materials Processing Technology.*, 190, 291–299, 2007.
- [72] Pal, K., Pal, S.K., Effect of Pulse Parameters on Weld Quality in Pulsed Gas Metal Arc Welding: A Review. *Journal of Materials Engineering and Performance.*, 20(6), 918–931, 2011.
- [73] Gowtham, K.N., Vasudevan, M., Maduraimuthu, V., Jayakumar, T., Intelligent Modeling Combining Adaptive Neuro Fuzzy Inference System and Genetic Algorithm for Optimizing Welding Process Parameters. *Metallurgical and Materials Transactions B.*, 42(2), 385-392, 2011.
- [74] Bhardwaj, S., Singh, S., Barry, S., Saini, M., Sharma, A., Singh, H., Optimization of Weld Bead Geometry in Submerged Arc Welds Deposited On En24 Steel Alloy Using Taguchi Method. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering.*, 12(6), 18-21, 2015.
- [75] Pinto-Lopera, J.E., Motta, J.M.S.T., Alfaro, S.C.A., Real-Time Measurement of Width and Height of Weld Beads in GMAW Processes., 16(9), 1500, 2016.
- [76] Duman, Ü., Modeling Of Weld Penetration In High Productivity GTAW. Colorado School of Mines, Metallurgical and Materials Engineering, Doktora Tezi, 2009.
- [77] Güler, M.S., Şen, S., Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler. Ordu Üniversitesi, *J. Sci. Tech.*, 5(1), 56-66, 2015.
- [78] Chambers, T.L., Aglawe, A., Reiners, D., White, S., Borst, C.W., Prachyabrued, M., Bajpayee, A., Real-time simulation for a virtual reality-based MIG welding training system. *Virtual Reality.*, 16(1), 45-55, 2012.
- [79] Zeng, Z., Wang, L., Wang, Y., Zhang, H., Numerical and experimental investigation on temperature distribution of the discontinuous welding. *Comput Mater Sci.*, 44(4), 1153-1162, 2009.

- [80] Wu, C.S., Zhang, M.X., Li, K.H., Zhang, Y.M., Numerical analysis of double-electrode gas metal arc welding process. *Comput Mater Sci.*, 39, 416-423, 2007.
- [81] Lee, C.K., Candy, J., Tan, C.P.H., Measurement and finite element analysis of temperature distribution in arc welding process. *Int J Comput Appl Technol.*, 21(4), 171-177, 2004.
- [82] Jackson, C.E., Shrubbsall, A.E., Control of Penetration and Melting Ratio with Welding Technique, *Welding Journal.*, 32(4), 172-178, 1953.
- [83] Jackson, C.E., The Science of Arc Welding. *Welding Journal.*, 39(4), 129-230, 1960.
- [84] Donglin, L., Qiang, W., Several Key Technologies of the Computer Simulation of the Welding Process. Second International Symposium on Computational Intelligence and Design., 1, 393-396, 2009.
- [85] Musthaq, M.S.M., Batcha, M.M., Predicting the Weld Bead Geometry of GTA Welding on AISI 202 Stainless Steel. *International Journal of Engineering Research & Technology.*, 3(2), 2463-2469, 2014.
- [86] Öztemel, E., Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, 2012.
- [87] Juang, S.C., Tarng, Y.S., Lii, H.R., A Comparison Between The Back-Propagation And Counter-Propagation Networks In The Modeling Of The TIG Welding Process. *Journal of Materials Processing Technology.*, 75, 54-62, 1998.
- [88] Porter, N.C., Cote, J.A., Gifford, T.D., Lam, W., Virtual Reality Welder Training. *Journal of Ship Production.*, 22(3), 126-138, 2006.
- [89] Kanti, K.M., Rao, P.S., Prediction of bead geometry in pulsed GMA welding using back propagation neural network. *Journal of Materials Processing Technology.*, 200, 300-305, 2008.
- [90] Xu, J.N., Zhang, H., Zhang, G.Y., Li, Y.L., Hu, R.H., The Choice of Welding Parameters and Prediction of weld seam dimensions for welding rapid prototyping. *IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, 976-979, 2008.
- [91] Dey, V., Pratihar, D.K., Datta, G.L., Prediction of Weld Bead Profile Using Neural Networks. *Emerging Trends in Engineering and Technology. IEEE Computer Society*, 581-586, 2008.

- [92] Dhas, J.E.R., Kumanan, S., Weld quality prediction of submerged arc welding process using a function replacing hybrid system. *Advances in Production Engineering&Management.*, 5(1), 5-12, 2010.
- [93] Nagesh, D.S., Datta, G.L., Genetic algorithm for optimization of welding variables for height to width ratio and application of ANN for prediction of bead geometry for TIG welding process. *Applied Soft Computing.*, 10(3), 897-907, 2010.
- [94] Al-Faruk, A., Hasib, A., Ahmed, N., Das, U.K., Prediction of Weld Bead Geometry and Penetration in Electric Arc Welding using Artificial Neural Networks. *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering.*, 10(4), 19-24, 2010.
- [95] Yang, U., Lee, G.A., Kim, Y., Jo, D., Choi, J., Kim, K.H., Virtual Reality based Welding Training Simulator with 3D Multimodal Interaction. *International Conference on Cyberworlds*, 150-154, 2010.
- [96] Iqbal, A., Khan, S.M., Sahir, M.H., ANN Assisted Prediction of Weld Bead Geometry in Gas Tungsten Arc Welding of HSLA Steels. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2011.
- [97] Sreeraj, P., Kanna, T., Modelling and Prediction of Stainless Steel Clad Bead Geometry Deposited by GMAW Using Regression and Artificial Neural Network Models. *Advances in Mechanical Engineering*, 2012.
- [98] Kumar, A., Chauhan, V., Bist, A.S., Role of Artificial Neural Network in Welding Technology: A Survey. *International Journal of Computer Applications.*, 67, 32-37, 2013.
- [99] Sudhakaran, R., Murugan, V., Sivasakthivel, P.S., Balaji, M., Prediction and Optimization of Depth of Penetration For Stainless Steel Gas Tungsten Arc Welded Plates Using Artificial Neural Networks and Simulated Annealing Algorithm. *Neural Computing & Applications.*, 22, 637-649, 2013.
- [100] Chandrasekhar, N., Vasudevan, M., Bhaduri, A.K., Jayakumar, T., Intelligent Modeling For Estimating Weld Bead Width And Depth of Penetration From Infra-Red Thermal Images of The Weld Pool. *Journal of Intelligent Manufacturing.*, 26, 59-71, 2015.
- [101] Woo, M., Neider, J., Davis, T., *OpenGL Programming Guide: The Official Guide to Learning OpenGL. Version 1.1*, Addison Wesley Longman, Inc, 126-161, 1997.

- [102] Ditchburn, K., <http://www.toymaker.info/Games/html/lighting.html>., Erişim Tarihi: 27.11.2009.
- [103] Dunn, F., Parberry, I., 3D Math Primer for Games and Graphics Development. Published by WordWare pres, 2002.
- [104] Christie, M., Olivier, P., Normand, J.M., Camera Control in Computer Graphic. Computer Graphics Forum., 27, 2197-2218, 2008.
- [105] Wordpress,
http://semsentir.files.wordpress.com/2008/05/perspective_projection_principle1.jpg., Erişim Tarihi: 20.09.2009.
- [106] Felixgers, <http://www.felixgers.de/teaching/jogl/gluPerspective.gif>., Erişim Tarihi: 20.09.2009.
- [107] Bærentzen, A., Nielsen, S.L., Gjørl, M., Larsen, B.D., Christensen, N.J., Single-pass Wireframe Rendering. ACM SIGGRAPH'06 Sketches, 2006.
- [108] Karadeniz, E., Ozsarac, U., Yildiz, C., The Effect of Process Parameters on Penetration in Gas Metal Arc Welding Processes, Materials and Design., 28, 649-656, 2007.
- [109] Son, J.S., Kim, I.S., Kim, H.H., Kim, I.J., Kang, B.Y. ve Kim, H.J., A Study on The Prediction of Bead Geometry in The Robotic Welding System. Journal of Mechanical Science and Technology., 21, 1726-1731, 2007.
- [110] Tewari, S.P., Gupta, A., Prakash, J., Effect of Welding Parameters on The Weldability of Material. International Journal of Engineering Science and Technology., 2(4), 512-516, 2010.
- [111] Ghazvinloo, H.R., Honarbakhsh-Raouf A., ve Shadfar, N., Effect of arc voltage, welding current and welding speed on fatigue life, impact energy and bead penetration of AA6061 joints produced by robotic MIG welding. Indian Journal of Science and Technology., 3(2), 2010.
- [112] Das, B., Debbarma, B., Rai, R.N., Saha, S.C., Influence of Process Parameters on Depth of Penetration of Welded Joint In MIG Welding Process. International Journal of Research in Engineering and Technology., 02(10), 220-224, 2013.
- [113] Andersen, K., Cook, G.E., Karsai, G., ve Ramaswamy, K., Artificial Neural Networks Applied to Arc Welding Process Modeling and Control. IEEE Transactions on Industry Applications., 26(5), 1990.

- [114] Musthaq, M.S.M., Batcha, M.M., Predicting the Weld Bead Geometry of GTA Welding on AISI 202 Stainless Steel. *International Journal of Engineering Research & Technology.*, 3(2), 2014.
- [115] Öz, C., Fındık, F., İyibilgin, O., Soy, U., Sanal Kaynak Simülatörü Tasarımı ve İmalatı. Tubitak-109M087, 2011.
- [116] Öz, C., Serttaş, S., Ayar, K., Fehim, F., Effect Of Virtual Welding Simulator On Tig Welding Training. *Journal of Materials Education.*, 37(5-6), 197-217, 2015.
- [117] Esmé, U., Bayramoglu, M., Kazançoğlu, Y., Özgün, S., Optimization Of Weld Bead Geometry In TIG Welding Process Using Grey Relation Analysis And Taguchi Method. *Materials and Technologies.*, 43, 143-149, 2009.
- [118] Ağyar, Z., Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları ve Bir Uygulama. *Mühendis ve Makine.*, 56(662), 22-23, 2015.
- [119] <https://www.mathworks.com/help/nnet/ref/trainlm.html>, Erişim Tarihi: 20.04.2017.
- [120] Çavuşlu, M.A., Becerikli, Y., Karakuzu, C., Levenberg-Marquardt Algoritması ile YSA Eğitiminin Donanımsal Gerçeklenmesi. *TBV Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi.*, 5, 31-38, 2012.
- [121] Wilamowski, B.M., Chen, Y., Efficient algorithm for training neural Networks with one hidden layer. *Proc. of the International Joint Conference on Neural Networks.*, 3, 1725-1728, 1999.
- [122] Dohnal, J., Using of Levenberg Marquardt method in identification by neural networks. *Student EEICT*, 361-365, 2004.
- [123] Arif, J., Chaudhuri, N.R., Ray, S., Chaudhuri, B., Online Levenberg-Marquardt Algorithm For Neural Network Based Estimation And Control Of Power Systems. *International Joint Conference on Neural Networks, IEEE*, 199-206, 2009.
- [124] Nuber, C., Bruckshen, R.W., Hamann, B., Joy, K.I., Interactive Visualization of Very Large Medical Datasets Using Point-Based Rendering. In *Proc. SPIE 5029, Medical Imaging Visualization, Image-Guided Procedures, and Display*, 27, 2003.
- [125] Agus, M., Giachetti, A., Gobbetti, E., Zenetti, G., Adaptive techniques for real-time haptic and visual simulation of bone dissection. In *IEEE Virtual Reality Conference, IEEE Computer Society Press*, 102-109, 2003.

- [126] Lai, Y.M., Quinb, H.Y., Lee, K.K.H., Chan, K.M., Regional differences in trabecular BMD and micro-architecture of weight-bearing bone under habitual gait loading—A pQCT and microCT study in human cadavers. *Bone.*, 37, 274-282, 2005.
- [127] Eriksson, M.G., Flemmer, H., Wikander, J., A Haptic and Virtual Reality Skull Bone Surgery Simulator. World Haptics Conference, Italy, 2005.
- [128] Eriksson, M.G., Dixon, M., Wikander, J., A Haptic VR Milling Surgery Simulator Using High-Resolution CT Data. The 14th MMVR Conference in Los Angeles, USA, 2006.
- [129] Chevalier, Y., Pahr, D., Allmer, H., Charlebois, M., Zysset, P., Validation of a voxel-based FE Method for prediction of the uniaxial apparent modulus of human trabecular bone using macroscopic mechanical tests and nanoindentation. *J. Biomech.*, 40, 3333-3340, 2007.
- [130] Altintas, G., Node-id based non-recursive flood fill algorithm for non-uniform discrete solid domains. 2nd World Conference On Information Technology, Antalya, Turkey, 2011.
- [131] Altintas, G., Erdem, R.T., Effect of micro-ct slice intensity on natural vibration behavior of cancellous bone models based on reverse engineering techniques. *Procedia Technology.*, 1, 318-322, 2012.
- [132] Niu, Q., Chi, X., Leu, M.C., Ochoa, J., Image Processing, Geometric Modeling and Data Management for Development of a Virtual Bone Surgery System. *Computer Aided Surgery.*, 13(1), 30-40, 2008.
- [133] Duriez, C., Syllebranque, C., Six Degree-of Freedom Haptic Rendering for Dental Implanatory Simulation, 139-149, 2010.
- [134] Eriksson, M.G., Wikander, J., A Face Validated Six Degrees-of-Freedom Haptic Bone Milling Algorithm, *IEEE Transactions on Haptics*, 2012.
- [135] Ferley, E., Cani, M.P., Gascuel, J.D., Practical Volumetric Sculpting. *The Visual Computer.*, 168, 469-480, 2000.
- [136] Ferley, E., Cani, M.P., Gascuel, J.D., Resolution Adaptive Volume Sculpting. *Journal of Graphical Models.*, 63(6), 459-478, 2001.
- [137] Raffin, R., Gesquiere, G., Remy, E., Thon, S., VirSculpt: A Virtual Sculpting Environment. International Conference Graphicon, 184-187, 2004.

- [138] Ho, C.C., Tu, C.H., Ouhyoung, M., Detail Sculpting using Cubical Marching Squares. ICAT'0, 10-15, 2005.
- [139] Heurtebise, X., Thon, S., Discrete Tools for Virtual Sculpture. GRAPP'06, 415-422, 2006.
- [140] Williams, J., O'neill, G.T., Lee, W.S., Interactive 3D Haptic Carving using Combined Voxels and Mesh. IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and their Applications, 108-113, 2008.
- [141] O'neill, G.T., Lee, W.S., Williams, J., Haptic-Based 3D Carving Simulator, Advances in Haptics, 299-314, 2010.
- [142] Altıntaş, F., Gültekin, B., Sınır, Değer Seçiminin Voksel Tabanlı Sonlu Eleman Modellerinin Doğal Titreşim Davranışları Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. C.B.Ü., Fen Bilimleri Dergisi., 9(1), 1-9, 2013.
- [143] Prior, A., Real-Time Collaborative Volumetric Virtual Sculpting with Haptic Force-Feedback, Doktora Tezi, 2009.
- [144] Echegaray, G., Borro, D., A methodology for optimal voxel size computation in collision detection algorithms for virtual reality. Virtual Reality., 163, 205-213, 2012.
- [145] Ayar, K., Çit, G., Öz, C., Serttaş, S., Voxelization with OpenCL for Virtual Sculpting. International Symposium On Innovative Technologies. Engineering And Science, 2014.
- [146] Nourian, P., Gonçaves, R., Zlatanovac, S., Ogori, K.A., Vo, A.V., Voxelization Algorithms for Geospatial Applications: Computational methods for voxelating spatial datasets of 3D city models containing 3D surface, curve and point data models, MethodsX., 3, 69-86, 2016.
- [147] Dong, Z., Chen, W., Bao, H., Zhang, H., Peng, Q., Real-time Voxelization for Complex Models. Proceedings of the Computer Graphics and Applications, 12th Pacific Conference, 43-50, 2004.
- [148] Eisemann, E., Decoret, X., Single-Pass GPU Solid Voxelization for Real-Time Applications. Proceedings of Graphics Interface., 322, 73-80, 2008.
- [149] Ogayar, C.J., Segura, R.J., Feito, F.R., Point in solid strategies. Computers & Graphics., 29, 616-624, 2005.
- [150] Schwarz, M., Seidel, H.P., Fast parallel surface and solid voxelization on GPUs. ACM Transactions on Graphics., 296, 179-187, 2010.

- [151] Jia, J., Qin, Z., Chen, J., A New Method on Voxelizing Triangular Mesh Model. *Information Technology Journal.*, 6(8), 1286-1289, 2007.
- [152] Passalis, G., Theoharis, T., Toderici, G., Kakadiaris, I.A., General Voxelization Algorithm with Scalable GPU Implementation. *Journal of Graphics, GPU, and Game Tools.*, 12(1), 61-71, 2007.
- [153] Zhang, L., Chen, W., Ebert, D.S., Peng, Q., Conservative voxelization. *The Visual Computer.*, 23, 9-11, 783-792, 2007.
- [154] Ericson, C., *Real-Time Collision Detection*. Morgan Kaufmann, 2005.
- [155] Sulaiman, H.A.B., Othman, M.A., Aziz, M.Z.A.A., Bade, A., Implementation Of Axis-Aligned Bounding Box For Opengl Arpn. *Journal of Engineering and Applied Sciences.*, 10(2), 701-708, 2015.
- [156] Çit, G., Sanal Heykeltraşlıkta Optimize Edilmiş Hash-Temelli Octree Veri Yapısının Kullanılması, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2015.
- [157] Möller, A.T., Fast 3D Triangle/Box Overlap Testing. *Journal of Graphics Tools.*, 6(1), 29-33, 2001.
- [158] Öz, C., Çit, G., Ayar, K., Multithreaded Voxelization Method for Virtual Sculpting. *European Conference of Technology and Society*, 2013.
- [159] Feng, L., Soon, S.H., An Effective 3D Seed Fill Algorithm. *Computers & Graphics.*, 22(5), 641-644, 1998.
- [160] Çolak, A., Grafik Kartı Üzerinde Paralel Hızlandırılmış Işın İzleme, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [161] İner, B., Sevilgen, F.E., N-Cisim Algoritmalarının Performans Karşılaştırması. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 2004.
- [162] Barentzen, A., Octree-based Volume Sculpting. *IEEE Visualization '98, Late Breaking Hot Topics Preceedings*, IEEE Computer Society Press, 9-12, 1998.
- [163] Çit, G., Ayar, K., Serttaş, S., Öz, C., A Real-Time Virtual Sculpting Application with a Haptic Device. *Turkic World Mathematical Society Journal of Applied and Engineering Mathematics.*, 3(2), 105-112, 2013.

- [164] Castro, R., Lewiner, T., Lopes, H., Tavares, G., Bordinon, A., Statistical optimization of octree searches. *Computer Graphics Forum.*, 27(6), 1557-1566, 2008.
- [165] Matthias, N., Zollhöfer, M., Izadi, S., Stamminger, M., Real-Time 3D Reconstruction at Scale Using Voxel Hashing. *ACM Transactions on Graphics.*, 32(6), 1–11, 2013.
- [166] Tatarchenko, M., Dosovitskiy, A., Brox, T., Octree Generating Networks: Efficient Convolutional Architectures for High-Resolution 3D Outputs. *The IEEE International Conference on Computer Vision*, 2088-2096, 2017.
- [167] Özkurt, A., *Ameliyatlara İçin İnteraktif Tıbbi Görüntüleme*, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2001.
- [168] Guha S., An Optimal Mesh Computer Algorithm for Constrained Delaunay Triangulation, 8. *International Parallel Processing Symp*, 102-109, Meksika, 1994.
- [169] Berg, M.D., Kreveld, M.V., Overmars, M., Schwarzkoft O., *Computational Geometry: Algorithms and Applications*, Springer Verlag, Ünite 9, 191-215, 1997.
- [170] Özkurt, A., Üç Boyutlu Örnek Veriden Yüzey Modeli Üretimi, Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi., 4(3), 27-36, 2002.
- [171] Han, J., MRI and CT Image Based on 3D Reconstruction and Medical Rapid Prototyping. *Puerto Rico Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi*, 2005.
- [172] Chernikov, A.N., Xu, J., A computer-assisted proof of correctness of a marching cubes algorithm. *Proceedings of the 22nd International Meshing Roundtable*, 505-523, 2014.
- [173] Parmar, B.N., Bhatt, T., Volume Visualization using Marching Cubes Algorithms: Survey & Analysis. *International Journal Of Innovative Research In Technology.*, 2, 21-25, 2016.
- [174] Roy, S., Augustine, P., Comparative Study of Marching Cubes Algorithms for the Conversion of 2D image to 3D *International Journal of Computational Intelligence Research.*, 13, 327-337, 2017.

- [175] Perng, K.L., Wang, W.T., Flanagan, M., Ouhyoung, M., A real-time 3d virtual sculpting tool based on modified marching cubes. Proceedings of International Conference on Artificial Reality and Teleexistence, 64–72, 2001.
- [176] Lin, F., Seah, H.S., Lee, Y.T., Deformable volumetric model and isosurface: exploring a new approach for surface boundary construction. Computers & Graphics., 20(1), 33–40, 1996.
- [177] Keeve, E., Girod, S., Kikinis, R., Girod, B., Deformable modeling of facial tissue for craniofacial surgery simulation. Comput Aided Surg., 3(5), 228-238, 1998.
- [178] Matsuda, H., Cingoski, V., Kaneda, K., Yamashita, H., Takehara, J., Tatewaki, I., Extraction and visualization of semitransparent isosurfaces for 3D finite element analysis. IEEE Transactions on Magnetics., 35(3), 1365–1374, 1999.
- [179] Yim, P., Vasbinder, G., Ho, V., Choyke, P., Isosurfaces as deformable models for magnetic resonance angiography. IEEE Transactions on Medical Imaging., 22(7), 875–881, 2003.
- [180] Narkbuakaew, W., Sotthivirat, S., Gansawat, D., Yampri, P., Koonsanit, K., Areeprayolkij, W., Sinthupinyo, W., Watcharabutsarakham, S., 3d surface reconstruction of large medical data using marching cubes in VTK. The 3rd International Symposium on Biomedical Engineering, 64-67, 2008.
- [181] Trembilski, A., Two methods for cloud visualization from weather simulation data. Visual Computer., 17, 179–184, 2001.
- [182] Wang, G., Huang, L., 3D Geological Modelling for Mineral Resource Assessment of the Tongshan Cu Deposit. Elsevier., 3(4), 483-491, 2011.
- [183] Ma, L., Zhao D.X., Yang Z.Z., A Software Tool for Visualization of Molecular Face (VMF) by Improving Marching Cubes Algorithm. Computational and Theoretical Chemistry, 1028, 34-45, 2013.
- [184] Shroeder, W., Martin, K., Lorensen, B., The Visualization Toolkit: An Object Oriented Approach to 3D Graphics. Prentice Hall, 159-164, 1998.
- [185] Knoll, A., Wald, I., Parker, S., Hansen, C., Interactive Isosurface Ray Tracing of Large Octree Volumes. Proceedings of the IEEE Symposium on Interactive Ray Tracing, 115-124, 2006.

- [186] Serttaş, S., Ayar, K., Çit, G., Öz, C., Multi-Threaded Application for Marching Cubes Algorithm. 2nd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 2014.

ÖZGEÇMİŞ

Soydan Sertaş, 02.02.1980 tarihinde Isparta'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Isparta'da tamamladı. 1997 yılında Gürkan Süper Lisesi'nden mezun oldu. 1998 yılında başladığı Çankaya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nü 2002 yılında bitirdi. 2003 yılında Dumlupınar Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı ve 2006 yılında mezun oldu.