

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

**3 BOYUTLU VERİLER KULLANILARAK YAPILARIN ÜZERİNE
DÜŞEN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİ HESAPLAYAN
DİNAMİK BİR MODEL VE YAZILIMIN GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Sümeyye KAYNAK

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

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet ÖZMEN

Aralık 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

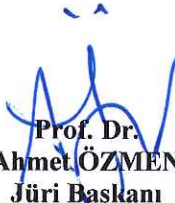
**3 BOYUTLU VERİLER KULLANILARAK YAPILARIN ÜZERİNE
DÜŞEN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİ HESAPLAYAN
DİNAMİK BİR MODEL VE YAZILIMIN GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

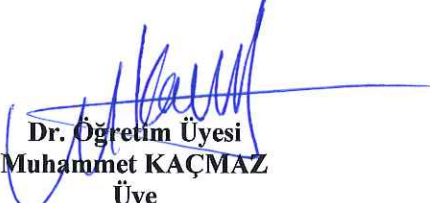
Sümeyye KAYNAK

Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 13/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Ahmet ÖZMEN
Jüri Başkanı


Prof. Dr.
İhsan PEHLİVAN
Üye


Dr. Öğretim Üyesi
Muhammet KAÇMAZ
Üye


Doç. Dr.
Devrim AKGÜN
Üye


Doç. Dr.
Metin VARAN
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.

Sümeyye KAYNAK

04.11.2019

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 danışmanım Prof. Dr. Ahmet Özmen hocama, aynı zamanda destekleri için tez izleme komitesi üyeleri Doç. Dr. Devrim Akgün ve Dr. Öğretim Üyesi Muhammed Kaçmaz hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca bana her türlü desteği sağlayan aileme, doktora sürecinde tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek veren sevgili eşim Baran Kaynak'a, varlığıyla beni onurlandıran sevgili oğlum Taha Kaynak'a minnet duygularımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
 BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
 BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	5
2.1. Güneş Radyasyonu Analiz Modelleri	5
2.1.1. Yatay yüzeyler üzerindeki global güneş radyasyonu tahmini için deneysel modeller	6
2.1.2. Yatay yüzeyler üzerindeki difüzyon radyasyon tahmini için deneysel modeller.....	8
2.1.3. Yatay yüzeyler üzerindeki doğrudan radyasyon tahmini için deneysel modeller.....	9
2.1.4. Eğimli yüzeyler üzerindeki global güneş radyasyonu tahmini için deneysel modeller.....	10
2.1.5. Eğimli yüzeyler üzerindeki doğrudan güneş radyasyonu tahmini için deneysel modeller.....	11
2.1.6. Eğimli yüzeyler üzerindeki difüzyon güneş radyasyonu tahmini için deneysel modeller	11
2.2. Kentsel Ölçekte Binaların Güneş Radyasyonu Analizi.....	12

2.3. Yüksek Başarımli Hesaplama Yöntemleri ile Güneş Radyasyonu Analizi.....	14
BÖLÜM 3.	
DİNAMİK GÜNEŞ RADYASYONU ANALİZ MODELİ VE UYGULAMASI.....	18
3.1. Dinamik Güneş Radyasyonu Modeli.....	18
3.1.1. Arka-yüz tespit algoritması.....	20
3.1.2. Işın izleme algoritması.....	22
3.1.3. 3B nesnelerin üçgenlerle temsil edilmesi.....	25
3.1.4. Möller-Trumbore ışın-üçgen kesişim testi.....	26
3.1.5. Sonlu elemanlar yöntemi ile üçgenlere bölme.....	34
3.2. GPU-Dinamik Güneş Radyasyonu Modeli.....	40
3.2.1. CUDA mimari yapısı.....	42
3.2.2. GPU-DSRM uygulaması.....	46
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	54
4.1. Global Güneş Radyasyonu Modelinin Uygunluğunun Test Edilmesi.....	54
4.2. Çalışma Alanı.....	57
4.3. Senaryo Dosyaları.....	58
4.4. CPU-DSRM Uygulamasına ait Deneysel Çalışmalar.....	59
4.5. GPU-DSRM Uygulamasına ait Deneysel Çalışmalar.....	62
BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	65
5.1. CPU-DSRM Uygulaması ile Elde Edilen Deney Sonuçları.....	65
5.2. GPU-DSRM Uygulaması ile Elde Edilen Deney Sonuçları.....	73
5.3. CPU-DSRM ve GPU-DSRM Uygulamalarının Karşılaştırılması.....	76
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	79

KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	91



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

G_{sc}	: Güneş sabiti (1.367 kW/m ²)
H	: Global güneş radyasyonu
H_b	: Doğrudan güneş radyasyonu
H_d	: Difüzyon radyasyon
H_0	: Dünya-dışı radyasyon
H_T	: Eğimli yüzeydeki global güneş radyasyonu
H_{TB}	: Eğimli yüzeydeki doğrudan güneş radyasyonu
H_{TD}	: Eğimli yüzeydeki difüzyon güneş radyasyonu
H_{TR}	: Eğimli yüzeydeki yansıyan güneş radyasyonu
K_t	: Açıklık indeksi
R	: Işının orjin noktası
R_d	: Işının yönü
R_B	: Atmosferin geçirgenliği
R_D	: Difüzyon radyasyonun dönüşüm faktörü
S	: Gün-ışığı süresi
S_0	: Maksimum gün-ışığı süresi
δ	: Deklinasyon açısı
α	: Yükseklik açısı
φ	: Enlem açısı
ω_s	: Saat açısı
θ	: Güneş geliş açısı
θ_z	: Zenit açısı
β	: Eğim açısı
ε	: Yükseklik açısı sabiti
ALS	: Havadan Lazer Tarama
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri

CUDA	: Birleşik Hesaplama Aygıt Mimarisi
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli
FPGA	: Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri
GPU	: Grafik İşlemci Birimi
LiDAR	: Işık Algılama ve Mesafe Ölçme
MLS	: Mobil Lazer Tarama
TLS	: Karasal Lazer Tarama
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Dinamik güneş radyasyonu modeli (DSRM).....	20
Şekil 3.2. Dış bükey çok yüzlü cisim üzerinde arka-yüz tespit algoritması	21
Şekil 3.3. Işık kaynağından yayılan, topa vuran sayısız fotondan göze ulaşan tek bir foton.....	22
Şekil 3.4. Nesne temsilinde nesne üzerine düşen foton sayısının önemi.	23
Şekil 3.5. Geri yönlü ışın izleme yönteminde ışının nesne ile kesişimi.....	23
Şekil 3.6. Köşelerin tanımlanma sırasının yüzey normalinin yönüne olan etkisi.....	26
Şekil 3.7. Işının üçgen düzleminde konumu.....	29
Şekil 3.8. D ve D' vektörleri zıt yönlüdür.....	30
Şekil 3.9. Üçgen düzleminin ön ve arka yüzleri.....	32
Şekil 3.10. Barisentrık koordinat.....	33
Şekil 3.11. Voronoi diyagramı ve Delaunay üçgenleme	37
Şekil 3.12. Voronoi diyagramından Delaunay üçgenlemesinin elde edilmesi	38
Şekil 3.13. Yüksek performanslı hesaplama için genel amaçlı CPU-GPU mimarisi.	43
Şekil 3.14. CUDA programlama modelinin hiyerarşik düzeni	44
Şekil 3.15. CUDA programlama modelinin hafıza düzeni	45
Şekil 3.16. GPU mimarisi için hazırlanan GPU-DSRM modelinin akış diyagramı..	49
Şekil 3.17. Paralel program aktiviteleri ve senkronizasyon bariyeri.....	51
Şekil 3.18. GPU-DSRM modelinin CUDA kernel fonksiyonu.....	54
Şekil 4.1. Tahmini toplam radyasyon değerlerinin gerçek değerlerle karşılaştırılması	56
Şekil 4.2. Örnek alınan çalışma alanının harita üzerindeki yeri.....	58
Şekil 4.3. Çeşitli bina yerleşim planları.....	59
Şekil 5.1. Farklı bina yerleşim planlarını temel alan yıllık güneş radyasyonu analizi	69
Şekil 5.2. Yerleşim planlarının radyasyon alım miktarlarına etkisinin karşılaştırılması.....	70
Şekil 5.3. Farklı bina yerleşim planlarının yıllık güneş enerjisi potansiyelinin görselleştirilmesi.....	72

Şekil 5.4. Üçgen sayısı ve örnekleme zaman aralığı bazında CPU-DSRM modelinin çalışma süresi.....	74
Şekil 5.5. Üçgen sayısı ve örnekleme zaman aralığı bazında GPU-DSRM modelinin çalışma süresi.....	75
Şekil 5.6. Örnekleme zaman aralığının çalışma süresine olan etkisi.....	76
Şekil 5.7. Üçgen sayısının çalışma süresine olan etkisi.....	76
Şekil 5.8. DSRM algoritmasının CPU ve GPU platformlarındaki çalışma sürelerinin karşılaştırılması.....	78
Şekil 5.9. GPU-DSRM modeli ile elde edilen hızlanma.....	78



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Test aşaması boyunca kullanılan test bilgisayarının donanım ve yazılım içerikleri.....	42
---	----



ÖZET

Anahtar kelimeler: DSRM, GPU, güneş enerjisi, 3B binalar, sürdürülebilir çevre

Binalar, sürdürülebilir kalkınma hedefinde önemli bir paya sahiptir. Binaların topluca veya bireysel ölçekte güneş radyasyonu analizinin gerçekleştirilmesi bu hedef için önemli bir adımdır. Binalardaki güneş radyasyonu analizinin doğruluğu, binaların bütünsel analizine ve modelin verimliliğine bağlıdır. Geleneksel güneş radyasyonu analiz yaklaşımları, LIDAR, ALS, hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve MLS gibi bazı teknolojileri kullanır. Bu teknolojiler pahalıdır ve mevcut olmayan yapılar için uygun değildir. Bu çalışmada planlama aşamasında olan veya tamamlanmış binaların 3B planları kullanılarak topluca veya bireysel ölçekte binalar üzerindeki global güneş radyasyonu tahminini yüksek doğrulukta ve hassasiyette yapabilen dinamik güneş radyasyonu modeli (DSRM: Dynamic Solar Radiation Model) geliştirilmiştir. Bina yüzeylerindeki gölge alanlarının dinamik değişimi güneş enerjisi tahminlerini etkiler. Binaların hassas radyasyon analizleri için sadece radyasyon tahmin modellerinin kullanılması yeterli değildir, farklı algoritmalar gerekir. Önerilen yaklaşımda, daha kesin sonuçlar elde etmek için sonlu elemanlar yöntemi, arka yüz algılama ve ışın izleme algoritmaları kullanılmaktadır. Böylece, gerçek zamanlı gölgeleme analizleri ve talep edilen hassasiyette ve zaman aralığında analizler önerilen yaklaşımla gerçekleştirilebilmektedir.

Kentsel bir çevrenin dinamikleri ve karmaşıklığı içerisinde pasif parametrelerin optimum değerlerini bulmak zaman alıcı ve zor bir iştir. DSRM uygulamasının analiz süresini kısaltmak için GPU temelli yeni bir radyasyon analiz modeli geliştirilmiştir. GPU-DSRM esnek bir model olup, herhangi bir ev planına veya bir sitedeki birden fazla ev planına uygulanabilir. GPU-DSRM tabanlı yazılım aracı, NVIDIA tarafından sağlanan CUDA mimarisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, GPU-DSRM algoritmasını doğrulamak ve performansını analiz etmek için 10 binadan oluşan bir site çalışma alanı olarak seçilmiş ve bu alan üzerinde farklı senaryolarla birçok test işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda hem CPU ve hem de GPU temelli uygulamalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, GPU temelli uygulama ile 45 kat bir hızlanma elde edilmiştir. GPU-DSRM ile birlikte bina tasarımlarının veya mevcut kentsel oluşumların güneş potansiyeli analizi kabul edilebilir bir zamanda tamamlanabilir.

DEVELOPING A DYNAMIC MODEL AND SOFTWARE CALCULATING SOLAR ENERGY POTENTIAL USING 3-DIMENSIONAL DATA

SUMMARY

Keywords: DSRM, GPU, solar energy, 3D buildings, sustainable environment

Buildings play an important role in sustainable development. Performing solar radiation analysis on buildings at the multiple or individual scale is an important step for the formation of a sustainable environment. The accuracy of solar radiation analysis in buildings depends on the holistic analysis of the buildings and the efficiency of the model. Traditional solar radiation analysis approaches use some technologies such as LIDAR, ALS, aerial photographs, satellite images, and MLS. These technologies are expensive and not suitable for non-existing structures. In this study, a dynamic solar radiation model (DSRM) has been developed to evaluate the global solar radiation on structures which can be either in planning stage or completed at the multiple or individual scale. Dynamical changes of shadow areas on building surfaces affect solar energy estimations. It is not enough to use only radiation estimation models for precise radiation analysis on buildings, different algorithms are required. In the proposed approach, finite element method, back-face detection and ray-tracing algorithms are utilized to obtain more precise results. Thus, real-time shadow analysis and analysis of the desired sensitivity and time interval can be obtained using the proposed approach.

Finding the optimum value of passive parameters within the dynamics and complexity of an urban environment is a time consuming and difficult task. A new GPU-based radiation model has been developed to shorten the analysis time of DSRM implementation. GPU-DSRM is a flexible model that can be applied to any home plan or multiple home plans in a site. The GPU-DSRM software tool is implemented using the C/CUDA architecture provided by NVIDIA. In this study, a site consisting of 10 buildings has been selected as a study area to verify the GPU-DSRM algorithm and to analyze its performance. Many tests with different scenarios on this area have been performed. In the experimental studies, the results obtained from both CPU and GPU based applications were compared and a 45-fold acceleration was achieved with GPU based application. With this new approach, solar potential analysis of building designs or existing urban formations can be completed in acceptable time.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Türkiye ve Dünya ülkelerinde ekonomik, çevresel ve sosyal kalkınmanın temel girdisi enerjiye olan gereksinim artması, yenilenemeyen enerji kaynakları rezervlerinin azalmaya başlaması ve bu kaynakların çevreye verdiği zararlar bilim insanlarını yenilenebilir enerji kaynaklarını araştırmaya yöneltmiş, sürdürülebilir kalkınma birçok devletin hedefi haline gelmiştir.

Sürdürülebilir kalkınma çevre değerlerinin ve doğal kaynakların bugünkü ve gelecek kuşakların hak ve yararları da göz önünde bulundurularak israf etmeden kullanılmasını ifade eder [1]. Sürdürülebilir şehir ve yaşam alanlarının oluşturulması Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedefleri arasında yer almaktadır. Çevre dostu, uzun ömürlü, iklimle dengeli, verimli binalar inşa etmek sürdürülebilir şehirler oluşturmada önemli bir faktördür. Yaşam döngüleri boyunca harcadıkları enerji ile oluşan kirlenmelerde ve enerji kaynaklarının tükenmesinde oldukça etkili [2] olan binalar; toplam enerji tüketiminin 40%'ından [3] doğal kaynakların tüketiminin 1/3'ünden, toplam katı atıkların da %40'ından [4] sorumludur. İhtiyaç duydukları enerjinin aktif (PV sistemleri) veya pasif sistemlerden faydalanılarak sürdürülebilir kaynaklardan elde edilmesi, bu oranları önemli ölçüde azaltacaktır.

Bir binanın inşa edileceği arazinin seçimi, arazide konumlandırılması, yönü, formu, yüksekliği, diğer binalara olan uzaklığı ve kullanılan malzemeler tasarım aşamasında karar verilmesi gereken pasif sistem parametreleridir. Bu parametreler dikkate alınmadan tasarlanmış bir bina, ne kadar yüksek maliyetli aktif sistemlerle donatılırsa donatılsın, enerji verimliliği ve enerji yönetiminin performansı açısından olabileceğin çok altında kalacaktır [5]. Bölgesel iklim ve güneş ışınları gözetilerek binalar için optimum tasarım parametreleri bulunabilir ve bu şekilde enerjiye daha az ihtiyaç

duyan ve ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan karşılayan enerji etkin binalar inşa edilebilir.

Güneş enerjisi sürdürülebilir bir kent hedefinde aktif ve pasif sistemlerin çokça faydalandığı yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Güneşin füzyon sürecinde ortaya çıkan güneş enerjisinin sadece iki milyarda biri dünyaya ulaşmaktadır [6]. Dünya'ya ulaşan bu enerji Dünya'da 1 yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır [6] ve ulaşan bu enerjinin küçük bir bölümü dahi insanların tükettiği enerjiden kat kat fazladır.

Türkiye bulunduğu matematik konum gereği güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça iyi durumdadır. Güneş enerjisinden en elverişli şekilde yararlanan konutların ve kentlerin oluşturulabilmesi için binalar üzerinde güneş radyasyonu analizlerinin en doğru şekilde yapılması gerekmektedir. Analizin doğruluğu karmaşık kentsel ortamlarda bulunan binaların bütüncül analizine ve modelin etkinliğine bağlıdır.

Binaların güneş enerjisi potansiyelinin bulunması için hem yatay hemde eğimli yüzeylerinin güneş radyasyonu açısından analizlerinin yapılması gerekir. Yatay ve eğimli yüzeylerdeki global güneş radyasyonu tahmini için günışığı süresi, bulutluluk, nem, sıcaklık, toplam yağış gibi farklı meteoroloji verilerini kullanan birçok matematiksel model geliştirilmiştir. Literatürde global güneş radyasyonun tahmini için lineer [7], nonlinear [8] matematiksel modeller kullanıldığı gibi yapay zeka teknikleri [9] ile de tahmin modelleri geliştiren çalışmalar mevcuttur. Belirli bölgeler için kullanılabilecek modeller olduğu gibi verinin elde edilemediği koşullarda kullanılabilecek genel modellerde vardır.

Hızlı bir gelişim ve değişim içerisinde olan kentlerde binaların topluca veya bireysel ölçekte güneş radyasyonu analizi yapılırken, çevre şartları da göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, binaların 3B detayları ayrıntılı bir şekilde ele alınmalı ve dinamik gölge analizleri de hesaba katılmalıdır.

Radyasyon analizinde havadan çekilmiş uydu görüntüleri [10], [11], [12], [13], ALS (havadan lazer tarama), LiDAR (ışık algılama ve mesafe ölçme), MLS (mobil lazer tarama) gibi metotlar binalar hakkında ayrıntılı bilgilerin elde edilmesinde kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler yüksek maliyetli olup, yeni planlanan bir bina veya tasarlanan bir site için kullanılamaz. Bu eksikliği gidermek için, Li ve ark. tarafından yeni planlanan bir site alanı içinde düz çatılı binaların çatıları üzerindeki güneş potansiyeli analizini gerçekleştiren piksel tabanlı bir yöntem önerilmiştir [14]. Bu çalışmada, daha doğru analiz sonuçları elde etmek için güneşin konumuna göre anlık gölgeleme haritaları oluşturularak hesaplamalarda kullanılmıştır.

Bu tez kapsamında, binaların 3B planlarını kullanarak güneş potansiyeli analizini yüksek doğruluk ve hassasiyette yapabilen dinamik güneş radyasyonu modeli (DSRM) geliştirilmiştir. Yeni model, kentlerin dinamik yapısına uygun olarak geliştirilmiş olup, hem henüz planlanan hem de zaten var olan binalar için kullanılabilir. Sonuçların gerçeğe daha yakın olması için model içine gerçek zamanlı gölgeleme analizi de katılmıştır. İstenilen hassasiyette analiz yapılabilmesi için ise gün içindeki örnekleme aralığı ve bina yüzeylerine kaplanan üçgen büyüklüğü parametre olarak belirlenmiştir. Geliştirilen model kullanılarak, yıl içinde belirlenen herhangi bir zaman dilimi için güneş enerjisi potansiyel analizi yapılabilir.

Sürdürülebilir bir çevre hedefi ile konut tasarımı ve kent oluşum senaryoları DSRM ile analiz edilebilir. Kent ortamlarının dinamik yapısı gereği tek bir konutun radyasyon analizi bile uzun sürelerle, yüksek hesap gücüne ihtiyaç duyarken; en uygun bina tasarım parametrelerin elde edilebilmesi için pasif tasarım parametrelerinin çeşitliliği ile oluşan konut tasarım ve kent oluşum senaryolarının radyasyon analiz sonuçlarını elde etmek haftalar sürebilir. Çalışmanın ikinci kısmında, analiz süresini makül düzeye indirmek için yüksek performanslı hesaplama tekniklerinden ve GPU kartlarından faydalanılmıştır. İkinci kısımda DSRM temel alınarak, GPU kartları üzerinde çalıştırılacak şekilde GPU-DSRM geliştirilmiştir. GPU-DSRM ile analiz süresi kısaltılmış, yüksek hassasiyette ve büyük ölçekte analizler yapılabilmesi sağlanmıştır.

Bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde tez konusunun genel bir tanımı yapılmış, çalışmanın amacı ve önemi açıklanmıştır. Bölüm 2’de literatür incelemesi; global güneş radyasyonu modelleri, kentsel ölçekte binaların güneş radyasyonu analizi, yüksek başarımlı hesaplama yöntemleri ile güneş radyasyonu analizi olmak üzere 3 başlık altında yapılmıştır. 0’de geliştirilen DSRM ve GPU-DSRM uygulamalarından ve kullanılan yöntemlerden bahsedilmektedir. BÖLÜM 4’de farklı bina yerleşim planına sahip 4 farklı senaryo anlatılmaktadır. CPU-DSRM ve GPU-DSRM uygulamalarına ait yapılan deneysel çalışmalar bu bölüm altında anlatılmaktadır. BÖLÜM 5’de DSRM uygulamasının doğrulanması, farklı bina yerleşim senaryolarının irdelenmesi, deneysel çalışma sonuçlarından, DSRM ile GPU-DSRM uygulamalarının performans analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak anlatılmaktadır. BÖLÜM 6’da bu tez çalışmasının kazanımları, eksik noktaları ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalardan bahsedilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen DSRM modeli ve uygulaması, kent planlayıcılarına, mimarlara, çevre mühendislerine, enerji yatırımcılarına ve bireylere katkı sağlayacaktır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Kentsel ortamlardaki binaların güneş radyasyonu analiz çalışmalarının genel adımları aşağıda verilmektedir:

- Analizi yapılacak olan binaların 3B bilgileri alınır.
- Konumun yeryüzü-güneş ilişkisini temsil eden güneş bilgileri (azimut açısı, yükseklik açısı vb.) hesaplanır.
- Analiz edilecek alana özgü eğimli ve yatay yüzeylere ait doğrudan, yansıyan, difüzyon ve global radyasyon modelleri geliştirilir veya uygun olan mevcut modellerden seçim yapılır.
- Kent ortamının getirdiği koşullar (diğer binaların gölgeleri gibi) dikkate alınarak binaların global radyasyon analizleri gerçekleştirilir.
- Modelin doğrulanması gerçekleştirilir.
- Çalışmanın analiz hassasiyeti ve zaman bakımından performansı incelenir.

Bu bölümde radyasyon modellerinin geliştirilmesi, kentsel ortamda binaların radyasyon analizi ve performans iyileştirmeleri üzerine yapılan diğer çalışmalar incelenmiştir.

2.1. Güneş Radyasyonu Analiz Modelleri

Güneş enerjisi, Güneş'in çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıınım (radyasyon) enerjisidir. Bu ışıınının 50%'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır [6]. Dünya'ya ulaşan enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır [6].

Güneş enerjisinden faydalanabilmek için bu ışıınımların dünya üzerindeki yüzeyler ile olan ilişkisi (güneş açıları) bilinmelidir. Güneş açılarından faydalanılarak bir yüzeye düşen güneş radyasyonu (ışıınımı) bulunabilir. Global güneş radyasyonu ve içerikleri güneş enerjisi uygulamalarında kullanılır.

Global güneş radyasyonu; doğrudan, yansıyan ve difüzyon güneş radyasyon içeriklerinden oluşur. Doğrudan güneş radyasyonu güneş ışığının atmosferde herhangi bir saçılma olmadan doğrudan yeryüzüne ulaşan kısmıdır. Difüzyon radyasyon ise, güneş ışığının atmosferdeki bulut ve hava parçacıkları tarafından dağıtılan kısmıdır. Yansıyan radyasyon ise topraktan yansıyan doğru ve yaygın ışıdır.

Yatay yüzey üzerine gelen toplam ışıdır doğrudan ve difüzyon radyasyon içeriklerinden oluşur. Eğimli yüzeylere düşen toplam radyasyon ise doğrudan, difüzyon ve yansıyan radyasyondan oluşur. Bir binanın toplam güneş radyasyonu analizi için hem yatay hem de eğimli yüzeylerin ayrı ayrı toplam radyasyon analizlerinin yapılması gerekir.

Literatürde yatay ve eğimli yüzeylerdeki güneş radyasyonu tahmini için doğrusal, doğrusal olmayan matematiksel modeller kullanıldığı gibi yapay zekâ teknikleri [7], [15] ile de tahmin modelleri geliştiren çalışmalar mevcuttur. Bu bölümde yatay ve eğimli yüzeyler için global güneş radyasyonu ve içeriklerinin tahmini üzerine geliştirilen matematiksel modellere yer verilecektir.

2.1.1. Yatay yüzeyler üzerindeki global güneş radyasyonu tahmini için deneysel modeller

Global güneş radyasyonu tahmini için gün-ışığı temelli, sıcaklık temelli, göreceli nem, bulut kaplamalı, yağış tabanlı modeller geliştirilmiştir [16]. Geliştirilen modeller, bölgeye özgü veriler kullanılarak özelleştirilebilir. Özelleştirilebilen modeller olduğu gibi verinin elde edilemediği koşullarda kullanılabilecek genel modellerde vardır.

Angström-Prescott modeli yatay yüzeylerdeki global güneş radyasyonu tahmini için geliştirilen gün-ışığı temelli bir model olup, genel denklemi Denklem 2.1'de verilmiştir.

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2.1)$$

Denklemde a, b katsayıları Angström katsayıları olarak isimlendirilir.

H_0 'ın değeri Denklem (2.2) kullanılarak hesaplanır.

$$H_o = \frac{24 * 3600 * G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) * \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \varphi \sin \delta \right) \quad (2.2)$$

n; Yıl içindeki gün sayısıdır. (Örneğin; 1 Ocak için n=1, 31 Aralık tarihi için n=365'dir.)

$$\delta = 23.45 * \sin 360 * ((284 + n)/365) \quad (2.3)$$

$$S_0 = \frac{2}{15} \cos^{-1}[\tan \delta \tan \varphi] \quad (2.4)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \delta \tan \varphi) \quad (2.5)$$

Angström katsayıları iklime ve bölgeye bağımlı sabitlerdir. Gerçek güneş radyasyonu verilerinin elde edilemediği durumlarda Denklem 2.1'de yer alan a ve b parametreleri için sırasıyla 0.25 ve 0.50 değerleri önerilmektedir. [17].

Birinci dereceden bir polinom olarak sunulan Angström-Prescott modeli temel alınarak ikinci derece [18], [19] ve üçüncü derece polinom eşitlikleri [20] geliştirilmiştir. Sıcaklık, göreceli nem, bulut kaplaması, yağış bilgileri kullanılarak Angström [21] ve Prescott [22] tarafından önerilen Angström-Prescott modelinin bir uyarlaması olarak çok sayıda denklem geliştirilmiş [16] ve global radyasyon tahmininde kullanılmıştır.

2.1.2. Yatay yüzeyler üzerindeki difüzyon radyasyon tahmini için deneysel modeller

Yatay yüzeylerdeki difüzyon ve doğrudan güneş radyasyon içerikleri güneşle ilgili uygulamalarda kullanılan en önemli faktörlerdendir ve bu içerikleri ölçebilen az miktarda istasyon vardır [23]. Bu nedenle, modellerle bu içeriklerin tahmin edilmesi gerekir. Difüzyon radyasyon tahmini için geliştirilen modeller netlik endeksi, gün-ışığı süresi, sıcaklık, nem gibi hava parametreleri, global güneş radyasyonu değeri, bulutluluk gibi parametreleri kullanır. Arslanoğlu, difüzyon radyasyon tahmini için geliştirilen önceki çalışmalardan 35 farklı modeli incelemiş, Bursa ili için yeni bir difüzyon radyasyon modeli kurmuştur [23].

Bakirci, Erzurum ilinin yatay yüzeyler üzerindeki difüzyon radyasyonun tahmini için yeni bir difüzyon eşitliği geliştirmiştir [24]. Ulgen ve Hepbaslı Türkiye'nin nüfus bakımından en büyük 3 şehri için (İstanbul, Ankara ve İzmir) yatay yüzeyler üzerindeki difüzyon radyasyon tahmininde kullanılan modelleri değerlendirmişlerdir ve en doğru modeli seçmişlerdir [25]. Kaygusuz ve Ayhan [26] Trabzon ili için, Şen ve Tan [27] Türkiye'nin kuzeybatı kesimi için difüzyon radyasyonu modelleri geliştirmişlerdir. Tarhan ve Sari, Türkiye'nin Orta Karadeniz bölgesinin günlük global radyasyonun aylık ortalamasını tahmin etmek için ikinci dereceden bir polinom eşitliği, günlük difüzyon ve doğrudan radyasyonun aylık ortalamasını tahmin etmek için ikinci derece ve üçüncü derece denklemler geliştirmişlerdir [28]. Geliştirilen model, difüzyon ölçüm verilerinin mevcut olmadığı Türkiye'nin herhangi bir bölgesi için kullanılabilir. Çalışmamızda Türkiye'nin herhangi bir bölgesi için analiz gerçekleştirileceği için difüzyon modeli olarak ikinci dereceden denklem seçilmiştir. Denklem eşitliği 2.6'da verilmektedir.

$$\frac{H_d}{H} = 0.9885 - 1.4276K_t + 0.5679K_t^2 \quad (2.6)$$

H; global güneş radyasyonu, H_d ; Yatay yüzeydeki difüzyon güneş radyasyonudur.

$$K_t(\text{açıklık indeksi}) = \frac{H}{H_0} \quad (2.7)$$

2.1.3. Yatay yüzeyler üzerindeki doğrudan radyasyon tahmini için deneysel modeller

Doğrudan güneş radyasyonu tahmini için geliştirilen güneş radyasyon modelleri parametrik ve ayrışma modelleri olarak 2 kategoride sınıflandırılmıştır [29]. Parametrik modeller meteorolojik parametrelerden elde edilirken; ayrışma modelleri ise güneş radyasyonunun global, doğrudan ve difüzyon içerikleri arasındaki ilişkiye dayanır [30]. Ayrışma modelleri, global güneş radyasyonu bilgisinin mevcudiyeti durumunda parametrik modellere göre göreceli olarak kullanımı daha kolaydır [30].

Doğrudan güneş radyasyon değerleri, ölçüm cihazlarının maliyetli olması sebebiyle standart meteoroloji istasyonlarından çoğunlukla elde edilemez. Bu nedenle doğrudan güneş radyasyon değeri genellikle global güneş radyasyonu ve difüzyon güneş radyasyon değerlerinden elde edilir. Solanki ve Sangani doğrudan güneş radyasyonu tahmini için yeni bir eşitlik geliştirmişlerdir [31]. Geliştirilen yöntemle yükseklik açısı yöntemi (EAC) ismi verilmiştir. EAC yöntemine göre doğrudan güneş radyasyonu Denklem (2.8)'deki eşitlik kullanılarak hesaplanır/tahmin edilir.

$$H_b = (H_d - H)/\varepsilon \quad (2.8)$$

H; global güneş radyasyonu, H_d ; Yatay yüzeydeki difüzyon güneş radyasyonudur.

Ayın temsili bir gününe ait maksimum güneş ışığı süresi ≤ 12 olduğunda;

$$\varepsilon = \frac{\sum_{\text{gün-doğumu}}^{\text{gün-batımı}} \sin \alpha}{12} + 0.0944 \quad (2.9)$$

Ayın temsili bir gününe ait maksimum güneş ışığı süresi > 12 olduğunda;

$$\varepsilon = \frac{\sum_{gün-doğumu}^{gün-batımı} \sin \alpha}{gün\ uzunluğu} + 0.0944 \quad (2.10)$$

ε ; verilen bir konum ve zaman için yükseklik açısı sabitidir. α ; yükseklik açısıdır.

EAC yöntemi, dünya'nın herhangi bir konumu için doğrudan güneş radyasyonunun tahmini için kullanılabilir. Çalışmamızda Türkiye'nin herhangi bir bölgesi için analiz gerçekleştirileceği için doğrudan radyasyon modeli olarak EAC modeli seçilmiştir.

2.1.4. Eğimli yüzeyler üzerindeki global güneş radyasyonu tahmini için deneysel modeller

Bir binanın güneş radyasyonu analizi için hem yatay hem de eğimli yüzeylerin radyasyon analizinin yapılması gerekir. Eğimli yüzeylerin radyasyon değerlerinin tahmini yatay yüzey radyasyon değerleri temel alınarak yapılır. Literatürde eğimli yüzeylerin radyasyon tahmini için farklı modeller geliştirilmiş ve geliştirilen modeller değerlendirilmiştir.

Eğimli yüzeye gelen güneş radyasyonu doğrudan, difüzyon ve yansıyan radyasyon içeriklerinden oluşur.

$$H_T = H_{TB} + H_{TD} + H_{TR} \quad (2.11)$$

H_T ; Eğimli yüzeydeki toplam güneş radyasyon, H_{TB} ; Eğimli yüzeydeki doğrudan güneş radyasyonu, H_{TD} ; Eğimli yüzeydeki difüzyon güneş radyasyonu, H_{TR} ; Eğimli yüzeydeki yansıyan güneş radyasyonu.

2.1.5. Eğimli yüzeyler üzerindeki doğrudan güneş radyasyonu tahmini için deneysel modeller

Eğimli bir yüzeye düşen doğrudan radyasyon değeri atmosferin geçirgenliği ile yatay yüzey üzerindeki doğrudan radyasyon değeri kullanılarak hesaplanır.

$$H_{TB} = H_b * R_B \quad (2.12)$$

R_B ; Atmosferin geçirgenliğidir.

H_b ; Yatay yüzeylerdeki doğrudan güneş radyasyonu.

$$R_B = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} = \frac{\sin \delta \sin(\varphi - \beta) + \cos \delta \cos(\varphi - \beta)}{\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega} \quad (2.13)$$

θ ; güneşin geliş açısıdır. θ_z ;zenit açısıdır. δ ; deklinasyon açısıdır. φ ; enlem açısıdır. ω ; saat açısıdır. β ; eğim açısıdır.

2.1.6. Eğimli yüzeyler üzerindeki difüzyon güneş radyasyonu tahmini için deneysel modeller

Eğimli yüzey üzerindeki difüzyon radyasyon modelleri ile yatay yüzey üzerindeki difüzyon radyasyon modelleri arasında ilişki kuran çok sayıda model geliştirilmiştir. Bu modeller, izotropik ve anizotropik gökyüzü modelleri olarak sınıflandırılmıştır. İzotropik modeller difüzyon radyasyonun gökyüzünde eşit şekilde dağıldığını varsayar [7]. Anizotropik modeller ise güneşe yakın yerlerde difüzyon radyasyonun eşit bir şekilde dağılmadığını ve gökyüzü kubbesinin geri kalanından difüzyon radyasyon içeriğinin eşit bir şekilde dağıldığını varsayar [32].

Bu çalışmada difüzyon radyasyonun yalnızca izotropik içeriği dikkate alınmıştır. Böylece difüzyon radyasyonu eşitliği Denklem (2.12)'de verildiği gibi olur.

$$H_{TD} = H_d * R_D \quad (2.12)$$

H_d ; Yatay yüzeydeki difüzyon güneş radyasyonudur.

R_D ; Difüzyon radyasyonun dönüşüm faktörüdür.

β ; eğim açısıdır.

$$R_D = \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \quad (2.13)$$

2.2. Kentsel Ölçekte Binaların Güneş Radyasyonu Analizi

Kentsel/bireysel ölçekte güneş radyasyonu analizi için sadece güneş radyasyonu tahmin modellerinin kullanımı yeterli değildir. Kentsel veya bireysel ölçekte mevcut bir binanın analizinin gerçekleştirilmesi için binanın ayrıntılı bilgilerinin elde edilmesi gerekir. Havadan çekilmiş veya uydu görüntüleri [10], [12], ALS (havadan lazer tarama), MLS (mobil lazer tarama), TLS (karasal lazer tarama), LiDAR (ışık algılama ve mesafe ölçme) ayrıntılı bilgilerin elde edilmesinde kullanılan yöntemlerdir [33].

Bina çatılarındaki güneş radyasyonunun analizi [34], çatılardaki PV potansiyelin tahmin edilmesi [35], PV panellerin çatılar üzerindeki en uygun konumunun belirlenmesi [36], [37], çatı ve cepheleriyle birlikte binanın güneş potansiyelinin tahmin edilmesi gibi birçok çalışmada LiDAR verilerinden faydalanılmıştır [38]. Catita ve arkadaşları, zemin, çatı ve cephelerdeki güneş radyasyonu analizini havadan LiDAR verilerini kullanarak elde ettiği 3B bina modellerini ve sayısal yüzey modelini (DSM) kullanarak gerçekleştirdiler [39]. Jochem ve arkadaşları, dikey bina cephelerinin güneş potansiyeli değerlendirmesinde MLS verilerinden faydalanmışlardır [40]. Dikey bina cephelerinin güneş potansiyeli değerlendirmesinde ALS verilerinin uygun olmadığı çalışmalarında belirtilmiştir. Agugiaro ve arkadaşları Alp dağlarında bulunan bina çatılarının güneş radyasyonu tahmini gerçekleştirmişlerdir [41]. Çatılara gelen güneş radyasyonunu tahmin etmek için raster ve vektör verilerinden faydalanılmıştır. Hofierka ve Zlocha, kentsel alanlar için yeni bir 3B güneş radyasyon modeli geliştirmişlerdir [42]. Geliştirdikleri model, GRASS GIS yazılımı içerisinde yer alan v.sun modeli ile topografik r.sun modelinde kullanılan mevcut güneş radyasyonu yöntemini temel alır. Agugiaro ve arkadaşları, dağlık alanlardaki bina çatılarının güneş radyasyonu tahmini üzerine çalışma yapmışlardır [43]. Chow ve arkadaşları, yüksek çözünürlüklü bir güneş radyasyonu tahmini için ArcGIS coğrafi bilgi sistemleri (CBS) üzerinde 3B bir (CBS) modelleme yaklaşımı sunar [44]. CAD ve yüksek çözünürlüklü ortofotolar kullanarak 3B bir çalışma alanı oluşturulmuştur. 3B veriler CBS'leri tarafından varsayılan olarak okunamazlar. 3B çalışma alanı 2B raster (sayısal

yükseklik modeli -DEM) formatına dönüştürülmüş ve analiz gerçekleştirilmiştir. Dönüşüm sırasında bilgi kayıpları meydana gelir. Çıktı olarak orijinal DEM girdileri ile yıllık 2B güneş potansiyeli haritası birleştirilerek 3B bir güneş potansiyel haritası elde edilir. Lindberg ve arkadaşları, zemin, çatı ve bina duvarlarındaki güneş radyasyonun tahmin edilmesi için yeni bir model (SEBE) sunmaktadır. SEBE modelinde 2 boyutlu raster veri modeli ve DEM modelinden faydalanarak 3 boyutlu görüntü elde edilmeye çalışılmıştır. SEBE modeline 2.5B modellemeye denilebilir [45]. Lee ve Zlatanova, bina ayak izinin hem LIDAR hemde CBS verilerinden faydalanarak 0.50X0.50 metrelik bir çözünürlük ızgarasına sahip bir 2.5B kentsel yüzey modelinin oluşturulması için hibrit bir yaklaşım uygulamıştır. Böylece binanın dikey cephelerinin tanımlanmasına, cephe ve çatıların ayrı bir şekilde işletilmesine imkân sağlanmıştır [46]. Bremer ve arkadaşları, sayısal şehir modellerine gelen güneşin değerlendirilmesi için çok ölçekli bir 3B CBS yaklaşımı sunar [47]. 2.5B DEM, 3B voksel ızgaraları, poligonal geometrilerinden faydalanır.

Yapılan çalışmalardan görüldüğü gibi kentsel/bireysel ölçekte yapılan analiz işlemleri mevcut var olan bir binanın bilgilerinin alınmasıyla başlar. 2B, 2.5B ve 3B bilgiler ışığında uygun araçlar/yöntemler kullanılarak analiz gerçekleştirilir. Havadan çekilmiş veya uydu görüntüleri, ALS, LIDAR, MLS yöntemleri binaların çatılarının, cephelerinin ve zemin hakkında bilgilerin elde edilmesinde kullanılan yaygın yöntemlerdendir. Bu yöntemler yüksek maliyetlidir ve yeni planlanan bir yapı ve tasarlanan bir site için kullanılamaz. Li ve arkadaşları düz çatılardaki güneş enerjisi potansiyelinin tahmin edilmesi için piksel tabanlı bir yaklaşım önerir [14]. Bu yaklaşım LiDAR, ALS, MLS gibi teknolojilere ihtiyaç duymaz. Gölgeleme haritaları kullanılarak dikkate alınır. Çalışma alanı olarak yeni planlanan bir inşaat alanındaki düz çatılı binalar seçilmiştir. Binaların cepheleri hesaba katılmamıştır. Li ve Liu ise mimari tasarım çizimlerini temel alan eğimli çatıların güneş potansiyelini tahmin etmek için bir piksel tabanlı yaklaşım önermişlerdir [48]. Önerilen yaklaşım, LiDAR, ALS, MLS gibi teknolojilere ihtiyaç duymaz. Çalışma alanı olarak 9 çatılı tipik bir Avustralya evi seçilmiştir. Gölgeleme haritaları kullanılarak dikkate alınmıştır.

Gölge güneş performansını önemli bir şekilde azaltan bir parametredir ve güneşin hareketinden dolayı gölge durumları dinamiktir. Alam ve arkadaşları, gölgelerin PV potansiyeli üzerindeki etkilerini 3B bir şehir modelinde incelemişlerdir [49]. Gölgelerin boyutları ile birlikte gölgelerin konumunun da önemli olduğu vurgulanmaktadır. Bu nedenle gerçek zamanlı gölgeleme analizinin gerçekleştirilmesi idealdir. Bu tez çalışması kapsamında önerilen yaklaşım ile gerçek zamanlı bir gölgeleme analizi gerçekleştirilebilir.

2.3. Yüksek Başarımli Hesaplama Yöntemleri ile Güneş Radyasyonu Analizi

Uzun ömürlü, gelecekteki küresel iklim değışikliklerine karşı daha esnek ve iklimle birlikte çalışabilen nitelikli konutların tasarımı sürdürülebilir kentlerin oluşumunda temel rol oynar. Nitelikli bir konut tasarımı için; arazinin seçimi, bina cephesinin konumu, binanın geometrisi, doğal kaynakların ve çevrenin korunması, etkin enerji kullanımını etkileyen parametreler, etkin su kullanımı, aydınlatma gibi pek çok parametre en iyi şekilde kurgulanmalıdır. Bu parametrelerin tasarım aşamasında dikkate alınması konutların aktif sistemlerden (PV sistemler vb.) daha iyi performans elde etmesini sağlayacaktır.

Güneş enerjisi sürdürülebilir bir kent hedefinde aktif ve pasif sistemlerin çokça faydalandığı yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisinden en iyi şekilde yararlanan konutların ve kentlerin oluşturulabilmesi için binaların güneş radyasyonu analizlerinin en doğru şekilde yapılması gerekmektedir.

Hızlı bir gelişim ve değışim içerisinde olan kentlerin radyasyon analizleri, kentin bulunduğu çevre ve şartlar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Bu durum tek bir konut tasarımı için bile büyük ölçekli analizlere, yüksek hesap gücüne ihtiyaç duyar. En uygun tasarım parametrelerin elde edilebilmesi için pasif tasarım parametrelerinin çeşitliliği ile oluşan konut tasarım ve kent oluşum senaryolarının her birinin radyasyon analiz sonuçlarını elde etmek daha yüksek hesap gücüne ve daha uzun sürelerle ihtiyaç duyar. Öyle ki, bazı senaryolar için bu süreler oldukça uzun (birkaç gün) sürebilmektedir.

Sıradan bilgisayarlar ile büyük ölçekli ve yüksek çözünürlüklü bilgilerin işlenmesi çok uzun zaman alabilir. Bu sebeple yüksek performanslı bilgisayar kümeleri ve paralel hesaplama ortamları veya özel donanım cihazları (FPGA, GPU) tercih edilmektedir [50], [51]. Küme hesaplama çok çekirdekli sistemlere nazaran esnek bir hesaplama ortamı sağlamasına rağmen, çok çekirdekli sistemler daha iyi bir fiyat- performans oranına sahip olması ve kolay programlanabilir olması nedeniyle mevcut çalışmalarda sıkça tercih edilmektedir [52].

Yüksek performanslı hesap talebini karşılamak için GPU (grafik işlemci birimi) mimarisinin kullanımı son zamanlarda yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır. GPU mimarisi çok sayıda çekirdeğe sahiptir ve tek komut çok veri (SIMD: Single instruction multiple data) modelini uygular [53]. Bilimsel çalışmalarda, uygulamaları hızlandırmak için GPU teknolojisinin eşzamanlı hesaplama avantajlarından faydalanılır. CPU üzerinde çalışan uygulamaların GPU üzerinde çalıştırılmasına, grafik işlemcisinde genel amaçlı hesaplama (GPGPU) denir.

GPU'nun özel mimari yapısından dolayı, CPU üzerinde çalışan uygulamaların paralelleştirilmesi ve GPU platformlarında çalışabilir hale getirilmesi karmaşık ve zor bir süreçtir [54]. Algoritmanın karmaşıklığı kod geliştiriciler için önemli bir kısıttır. Geleneksel bilgisayarlar için geliştirilen bir algoritmanın, GPU mimarisine transferi için tüm koşullar düşünülerek algoritma yeniden tasarlanmalıdır. Ancak bu şekilde paralellikten en iyi şekilde istifade edilebilir.

CUDA paralel hesaplama platformu NVIDIA şirketi tarafından kendi ürünü olan GPU kartlarında genel amaçlı problemlerin çözümünde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. CUDA programlama modeli ve NVIDIA GPU mimarisi coğrafi bilgi sistemleri (CBS) uygulamalarının geliştirilmesinde önemli rol oynamıştır [55].

Temel paralel programlama bilgisine sahip ve yüksek seviyeli dillerle program yazabilen bir programcı NVIDIA CUDA programlama modeli sayesinde, kolay bir şekilde uygulamasını geliştirebilir. CUDA platformu yalnızca NVIDIA ekran kartları üzerinde kullanılabilir ve yalnızca C programlama dilinin uzantılarını

desteklemektedir [56]. Problem GPU mimari yapısına uygun şekilde paralelleştirilebilirse, CPU üzerinde çalışan uygulamalar GPU'ya taşınabilir.

CBS uygulamalarının hesaplama süresini azaltmak için GPU mimarileri genellikle tercih edilmektedir. Hu ve arkadaşları, LiDAR sistemlerinden gelen çok büyük nokta veri bulutunun daha hızlı filtrelenmesini sağlamak için GPU teknolojisinden faydalanmışlardır [57]. Bu çalışmada LiDAR noktalarının sayısı 48 milyona kadar artırılmış ve 10 kata kadar bir hızlanma elde edilmiştir. Benzer şekilde Pecnik ve Zalik, sınıflandırılmış LiDAR nokta bulutunun filtrelenmesini hızlandırmak için GPU'dan faydalanmışlardır [58]. Çalışmalarında, filtrelenmiş LiDAR verilerini kullanarak gerçek zamanlı bir görselleştirme tekniği sunulmaktadır. Sugumaran ve arkadaşları, yerel ve bulut platformlarında LiDAR verilerinin işlenmesinde CPU ve GPU'nun performanslarını karşılaştırdılar [59]. Li ve arkadaşları tarafından LiDAR verileri için GPU temelli paralel bir işleme kütüphanesi geliştirilmiştir [60].

Daha hassas ve daha hızlı cevaplar alabilmek için güneş radyasyon uygulamalarının birçoğu GPU teknolojilerinden faydalanmaktadır. Tabik ve arkadaşları tarafından yüksek çözünürlüklü DEM kullanılarak güneş panellerinin en uygun konumunun bulunması için heterojen çok çekirdekli GPU mimarileri üzerinde koşan bir yazılım aracı geliştirildi [61]. Tabik ve arkadaşlarının yaptığı bir başka çalışmada, çok geniş arazilerin güneş enerjisi girdilerini değerlendirmek için hızlı bir CBS aracı geliştirildi [62]. Yaptıkları çalışmada yüksek çözünürlüklü DEM verileri kullanılmış ve daha önceleri geliştirdikleri güneş radyasyonu modelinden faydalanılmıştır. Geliştirilen bu araç, bir yüzeyin yakalayabileceği maksimum güneş enerjisini ve maksimum enerjiyi yakalayabilmek için en uygun olan açılar bulur. Araç, CPU-GPU heterojen sistemleri üzerinde kısa bir sürede daha doğru sonuçlar üretmektedir. Huang ve arkadaşları doğrudan ve doğrudan olmayan güneş radyasyonu yoğunluğunu simüle etmek için daha önceden geliştirilen SHORTWAVE isimli modele bulut etkisini de ekleyerek GPU tabanlı SHORTWAVE-C isimli bir model oluşturdular [52]. Çalışma havadan LiDAR verilerinden faydalanmaktadır. GPU, hesaplama süresini %46'a kadar azaltmıştır. Yanjie ve arkadaşları, zemin radyasyon hesabını yapabilmek için bir hesaplama modeli geliştirdiler [63]. Hesaplama modelinin uygulamasında CUDA

çatısı temel alınmaktadır. CUDA destekli uygulama, birçok farklı 3B senaryo için çalıştırılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Yüzeylerin sayısının artması hızlanma performansını arttırmaktadır. Sonuç olarak; en yüksek yüzey sayısına sahip senaryoda GPU'nun kullanımı 20 kat hızlanma sağlamıştır. Jones ve Greenberg karmaşık ortamlarda bulunan yüzeyler üzerindeki doğrudan güneş kazancını hesaplamak için 2 yeni yöntem tanımladılar [64]. Yöntemlerden biri düzensiz açıklıklara sahip ve karmaşık delikli desenler içeren yüzeyler üzerindeki güneş enerjisi analizlerini, gölgeleri dikkate alarak gerçekleştirebilir. Diğer yöntem yüzeyler üzerine düşen şeffaf gölgeleri dikkate alarak güneş enerjisi analizlerini yapabilir. Russkova, bulutlu bir atmosferde güneş radyasyonu yayılımının benzetimini yapan Monte Carlo sayısal benzetiminin verimliliğini iyileştirmek adına NVIDIA CUDA teknolojisinden ve grafik işlemcilerinden faydalanmıştır [65]. Hofierka ve arkadaşları, GRASS GIS yazılımının karmaşık ve hesaplama yoğunluğuna sahip 3 modülünü (v.surf.rst, r.sun, r.sim.water) OpenMP uygulama programlama arayüzünü kullanarak paralelleştirdiler [66]. Lukac ve Zalik, çatılardaki güneş potansiyeli tahminini daha hızlı bir yöntemle gerçekleştirebilmek için GPU temelli CUDA teknolojisinden faydalandılar [67]. Çalışma LiDAR verilerini ve radyasyon ölçümlerini kullanır. Gölge analiz işleminde dikkate alınmaktadır. Çalışma LiDAR verileri kullanarak hızlı ve doğru bir şekilde güneş potansiyeli tahminini gerçekleştiren ilk GPGPU yöntemidir.

Daha kısa sürede sonuç veren güneş radyasyonu uygulamaları için birçok yüksek performanslı yöntem geliştirilmiştir. Paralelleştirme, yüksek performans gereksinimlerini karşılamak için en çok tercih edilen yaklaşımdır. Bu tez kapsamında yapılan GPU-DSRM modeli de tasarım aşamasında veya tamamlanmış olan binaların güneş potansiyelini tahmin etmek için geliştirilen ilk GPU yöntemidir. Geliştirilen yöntem, herhangi bir ölçekte hedef binaların 3B bilgilerini kullanır. Güneş potansiyeli analizinde uygulamanın daha kısa sürede cevaplar verebilmesi, alternatif bina tasarımlarının ve yerleşim düzenlerinin daha kısa sürede incelenmesini sağlar.

BÖLÜM 3. DİNAMİK GÜNEŞ RADYASYONU ANALİZ MODELİ VE UYGULAMASI

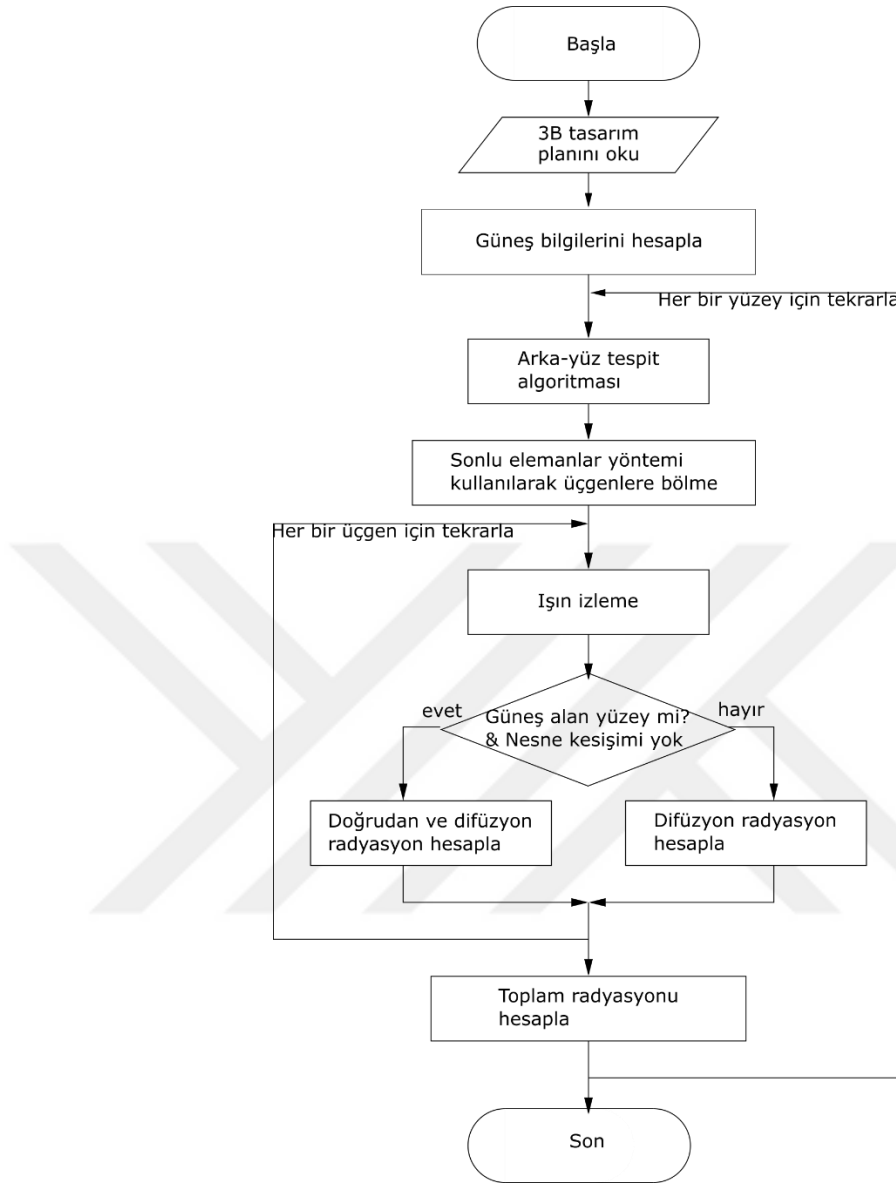
Bu çalışmada, mevcut veya tasarım aşamasında olan binaların 3B planlarından tekil veya kentsel ölçekte, yüksek doğrulukta güneş potansiyeli analizi yapabilmek için yeni bir model önerilmiştir. Klasik bilgisayarlar için geliştirilen model, daha sonra analiz süresini kısaltmak için GPU destekli paralel sistemler için yeniden yapılandırılmıştır. Klasik CPU platformları için geliştirilen dinamik güneş radyasyonu modeli CPU-DSRM veya sadece DSRM, GPU platformları için geliştirilen dinamik güneş radyasyonu modeline ise GPU-DSRM ismi verilmiştir.

3.1. Dinamik Güneş Radyasyonu Modeli (DSRM)

DSRM'in temel amacı tasarım aşamasında olan binaların 3B planlarından tekil veya kentsel ölçekte, gölgeleme etkisini de dikkate alacak şekilde daha hassas ve doğrulukta güneş potansiyeli analizini gerçekleştirmektir. Modelin mevcutlardan temel farkı güneş potansiyeli analizini yüksek hassasiyette yapabilmesidir. Örnekleme zaman aralığının azalması daha güncel güneş ışını açısının kullanımını ifade eder. Üçgen büyüklüğünün azalması veya üçgen sayısının artması yüzeyin temsilini arttırır. Yüzey ayrıntılarının dikkate alınması daha hassas analizlerin yapılmasını sağlar. Güneşin hareketi ve nesnelerin (bina, ağaç, araba vs.) konumu ile değişen gölgeler hesaba katılır. Böylece dinamik bir güneş radyasyonu analizi gerçekleştirilir. Geliştirilen DSRM ve GPU-DSRM uygulamalarında üçgen sayısı, örnekleme zaman aralığı ve analiz süresi parametreleri ayarlanabilir. Uygulama, planlama aşamasında olan binalar içinde analiz işlemleri gerçekleştirebilmektedir. Literatürde bu hedef doğrultusunda yapılan çok az sayıda çalışma vardır.

DSRM, güneşe bakan yüzeyleri tespit etmek için arka-yüz algoritmasını, dinamik gölge analizlerinin yapılabilmesi için ışı-üçgen kesişim algoritmasını ve sonlu elemanlar yöntemini içerir. Model temel alınarak geliştirilen uygulama, aşağıda verilen adımları icra eder (Bkz. Şekil 3.1.):

1. Bina veya binalara ait 3B tasarım planları ve coğrafi konum bilgisi alınır. Belirtilen konum için yükseklik, eğim ve güneşin saat açısı bilgileri Duffie ve Beckman modeli [68] temel alınarak hesaplanır.
2. Arka-yüz tespit algoritması, bilgisayar grafikleri alanında görünür yüz tespiti için sıkça kullanılan bir algoritma olup, bu çalışmada yapıların güneşe bakan yüzeylerini tespit etmek için kullanılmıştır.
3. Yapıların her bir yüzeyi istenilen ölçekte sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak üçgenlere bölünür.
4. Güneşe bakan yüzeylere ait her bir üçgen, diğer tüm üçgenlerle ışı-üçgen kesişim testine tabi tutulur.
5. Üçgenlerin üzerine düşen radyasyon miktarı kesişim testinin sonucuna göre hesaplanır. Eğer herhangi bir kesişim olmuyorsa üçgenin doğrudan güneş radyasyonu hesaplanır. Eğer kesişim mevcut ise üçgen doğrudan güneş almıyordur ve toplam radyasyon hesabına katılmaz, sadece difüzyon radyasyon değeri hesaplanır. Güneşe bakmayan yüzeylere ait üçgenlerin toplam radyasyon değeri difüzyon radyasyon değerine eşittir. Bu yüzeyler kesişim testine tabi tutulmaz, böylece hesaplama yükü hafifletilmiş olur. Her bir üçgenin toplam radyasyon değeri ile her bir binaya, yüzeye, alana ait radyasyon analizleri gerçekleştirilebilir.
6. Sonuçlar veritabanına kaydedilir.

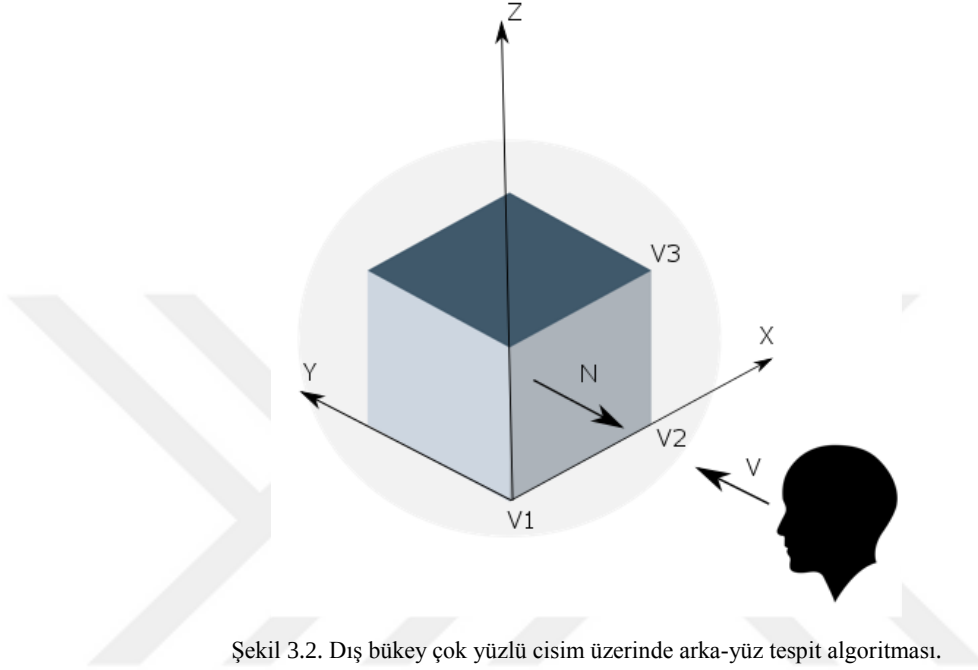


Şekil 3.1. Dinamik güneş radyasyonu modeli (DSRM)

3.1.1. Arka-yüz tespit algoritması

Görünen yüzeylerin belirlenmesinde kullanılan arka-yüz tespit algoritması, düzlem denklemi yöntemi olarak da bilinir, basit ve hızlı bir nesne uzayı yöntemidir. Arka-yüz tespit algoritması bilgisayar grafikleri alanında sıkça kullanılmaktadır. Bu algoritma ile görüntülenmek istenen 3B sahnedeki nesnelerin hangi kenar veya yüzeylerinin görünebilir olduğu tespit edilir.

Arka-yüz tespit algoritması dış bükey çok yüzlü cisimler için iyi çalışan bir algoritmadır. Fakat iç bükey çok yüzlü cisimler ve çakışan nesneler için arka-yüz tespit algoritması tek başına yeterli değildir. Başka bir görünür yüzey yöntemiyle desteklenmesi gerekir.



Şekil 3.2. Dış bükey çok yüzlü cisim üzerinde arka-yüz tespit algoritması.

Her yüzeyin bir normal vektörü vardır. Arka-yüz tespit algoritmasında yüzeyin normali hesaplanır. Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi yüzeyin normal vektörü ile görüntüleme yönü vektörü çarpımı yüzeyin görünebilir bilgisini verir.

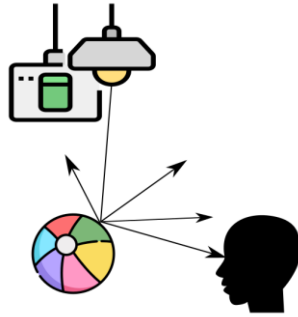
Arka-yüz tespit algoritmasının sözde kodu aşağıda verilmektedir.

1. Dış bükey çok yüzlü cismin her yüzeyi için normal vektörü (N) bulunur.
2. Gözün (kamera) görüntüleme yönü vektörü (V) hesaplanır.
3. $V \cdot N = |V||N|$
4. Eğer $V \cdot N > 0$ ise arka yüzeydir.
5. Eğer $V \cdot N \leq 0$ ise ön yüzeydir.

3.1.2. Işın izleme algoritması

Bilgisayar grafiklerinde 3B görüntü oluşturabilmek için kullanılan ışın izleme algoritması ilk olarak 1968 yılında Appel tarafından ortaya atılmıştır [69]. Işın izleme yöntemi gölge belirleme, aynasal yansıma, kırılma ve katı cisim üretimi için en etkin yöntemlerden biridir [70].

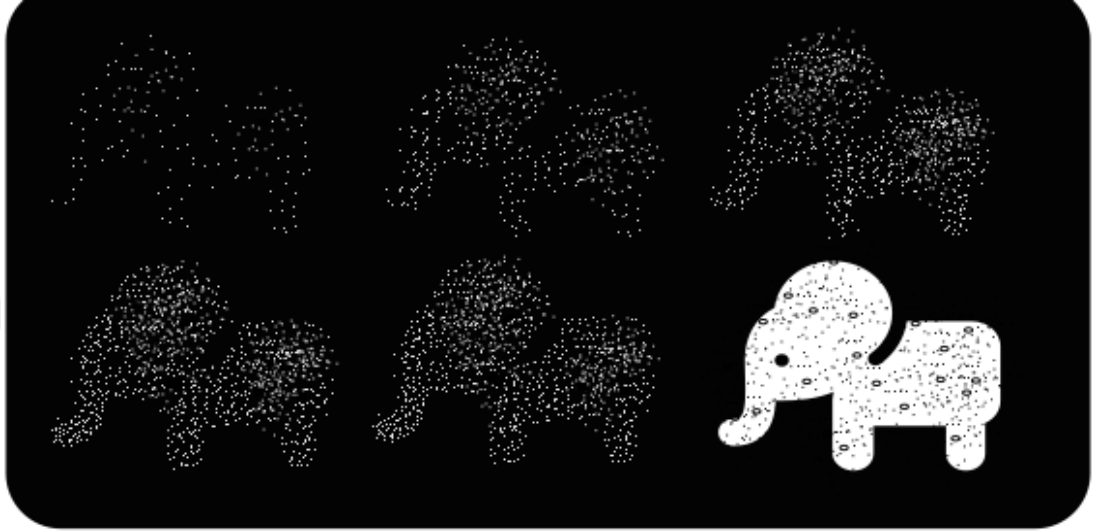
Gerçek dünyada bir ışık kaynağından çıkan ışık ışınları nesnelere çarpar ve nesnenin Albedo katsayısına göre ışık ışınının bir kısmı yansır. Şekil 3.3.'de görüldüğü gibi gözümüze ulaşana kadar ışık kaynağından sayısız sayıda ışık ışınları doğada yayılır. Yayılan ışık ışınların çok az bir oranı göze ulaşır. Göze çarpan fotonun yansıdığı nokta görülebilir olur.



Şekil 3.3. Işık kaynağından yayılan, topa vuran sayısız fotondan göze ulaşan tek bir foton.

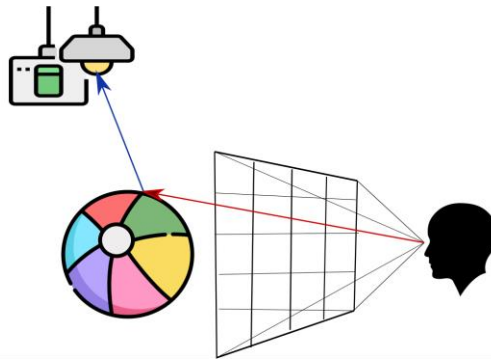
Işın izleme algoritmaları, ışığın fiziksel davranışlarını modellemeyi amaçlar. Bilgisayar grafiklerinde bu modellemeyi yapabilmek için öncelikle piksellerden oluşan görüntü düzlemine gözlemci konulur. Işık kaynağından yayılan fotonlar, görüntü düzleminde yer alan birçok pikselden birine çarpar. Bilgisayar tarafından üretilen görüntü oluşana kadar bu işlem defalarca tekrarlanır. Piksele ne kadar çok foton çarparsa pikselin parlaklığı o derece artar. Işık kaynağından çıkan çok sayıda ışının takip edildiği bu yöntem ileri yönlü ışın izleme yöntemi olarak isimlendirilir. Bu yöntem gerçek hayata daha yakın bir yaklaşım sunar. Fakat bilgisayar ortamında ışınların takip edilmesi yüksek bir hesaplama gücüne ihtiyaç duyar ve pratik bir çözüm değildir. Ayrıca, nesne yüzeyinin tamamen temsil edileceğinin garantisi verilmez.

Şekil 3.4.'de ileri yönlü bir ışın izleme algoritması kullanılarak bir görüntünün oluşturulma aşamaları gösterilmektedir. Fotonlarla nesnenin tamamen kaplanmasını garanti etmek için görüntü takip edilmelidir, program takip sonucunda sonlandırılmalıdır. İleri yönlü ışın izleme yöntemi verimli olmayan bir yöntemdir.



Şekil 3.4. Nesne temsiliinde nesne üzerine düşen foton sayısının önemi.

Geri yönlü ışın izleme yönteminde ışık ışınının başlangıç noktası bir ışık kaynağı değildir. Işık ışınının başlangıç noktası gözlemcidir (göz, kamera). Bu yöntemde ışınların gözden çıkarak cisimlere çarpıp kırılıp yansıması sonucu ışın kaynağına ulaştığı kabul edilir. İleri yönlü ışın izleme algoritmasındaki gibi ışık kaynağından çıkan tüm ışınlar için hesaplama yapılmaz. Göze gelen ışınlar için hesaplamalar yapılır. Bu sayede hesaplama yükü önemli ölçüde azalır.



Şekil 3.5. Geri yönlü ışın izleme yönteminde ışının nesne ile kesişimi.

Geri yönlü ışın izleme yönteminde piksellerden oluşan bir görüntü düzlemi ele alınır. Işının başlangıç noktası gözlemci olacak şekilde pikselin merkezine doğru ışın çizilir. Görüntü düzleminden geçen ışın nesneye çarptıktan sonra kırılıp yansıtılarak ışık kaynağına ulaştığı düşünülür. Gözlemciden nesneye doğru giden ışın birincil ışın olarak isimlendirilir. Kesişim noktasından ışık kaynağına doğru giden ışın ise gölge ışını olarak isimlendirilir. Şekil 3.5.'de geri yönlü ışın izleme yönteminin birincil (kırmızı renkli ok) ve gölge ışınları (mavi renkli ok) gösterilmektedir.

Gölge ışınları birincil ışınların nesneye çarpıp kırılması sonucu oluşur. Gölge ışınları eğer doğrudan ışık kaynağına ulaşıyorsa kesişim noktasının ışık aldığı söylenebilir. Görüntü düzleminde bu noktanın bulunduğu pikselin rengi, ışık kaynağının konumu, nesnenin albedo katsayısı ve rengi gibi parametrelere göre belirlenir. Eğer gölge ışınları ışık kaynağına ulaşamıyorsa ve başka bir nesne ile kesişiyorsa bu nokta gölgede kalıyor demektir ve görüntü düzleminde bu noktanın bulunduğu piksel siyah renkli olur.

Işınlar, başlangıcı ve yönü olan vektörlerdir. Başlangıç noktası R_0 , yönü R_d olan R ışını Denklem (3.1) eşitliği ile tanımlanabilir.

$$R = R_0 + tR_d \quad (3.1)$$

t , R_d doğrultusu boyunca giden R ışınının R_0 başlangıç noktasına olan uzaklığını temsil eder.

$t = 0$ ise ışın R_0 başlangıç noktası üzerindedir.

$t < 0$ ise ışın gözlemcinin arkasındadır.

$t > 0$ ise ışın gözlemcinin önündedir.

Işın izleme yönteminde ilk adım ışınların üretimidir. Işın üretiminden sonra kesişim testleri yapılır. Işın-üçgen, ışın-nesne, ışın-küre gibi kesişim testleri vardır. Bu kesişim testlerinin her birinin geometrik ifadesi farklıdır. Bu uygulamada ışın-üçgen kesişim testi yapılmaktadır. Işın-üçgen kesişim testi olarak Möller-Trumbore algoritması kullanılmaktadır. Çalışmada üçgenlerin neden tercih edildiği, ışın-üçgen kesişim testinin temel yapısı ve Möller-Trumbore algoritması sırasıyla Bölüm 3.1.3, Bölüm 3.1.4 ve Bölüm 3.1.5’de anlatılmaktadır.

3.1.3. 3B nesnelerin üçgenlerle temsil edilmesi

Üçgen, kare, yuvarlak, dikdörtgen gibi temel geometrik yapılardan oluşan 3B nesneler bilgisayarda kolayca temsil edilebilir. Ancak, karmaşık 3B nesnelerin temsilinde bu temel geometrik yapıların kullanımı yetersiz kalmaktadır, bu nedenle farklı çokgenler, bezier eğrileri gibi daha karmaşık geometrik yapılara ihtiyaç duyulur. Bir nesneyi farklı geometrik yapılarla tanımlamak ve her bir geometrik yapı için yuvarlak-ışın, kare-ışın, çokgen-ışın, dikdörtgen-ışın kesişim fonksiyonu gerçekleştirmek işlem yükü oluşturan ve zaman alıcı bir iştir.

Belirli kabullerle her nesne üçgen ağı ile temsil edilebilir. Kare, dikdörtgen, çokgen gibi geometrik yapılar üçgenlerden oluşur. Nesneyi üçgenlere bölüp üçgen-ışın kesişimini hesaplamak işlemleri kolaylaştırır.

Üçgenler, konumları 3B uzayda tanımlanmış üç köşe ile tanımlanır ve bu üç nokta bir düzlem oluşturur. Düzlem yüzeyine çizilen dik bir çizgi üçgenin normalidir. Normal hesabının sözde kodu aşağıda verilmektedir:

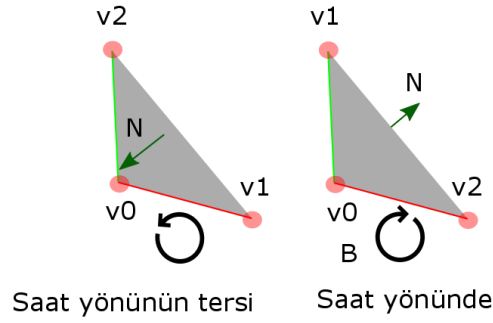
$$1) \text{ Üçgenin köşelerini tanımla: } V_0(X_0, Y_0, Z_0) \quad V_1 = (X_1, Y_1, Z_1)$$

$$V_2 = (X_2, Y_2, Z_2)$$

$$2) \text{ A ve B kenarını hesapla: } A = V_1 - V_0, B = V_2 - V_0$$

$$3) \text{ A ve B kenarlarının oluşturduğu düzleme dik başka bir vektör elde et:}$$

$$C = A \times B$$



Şekil 3.6. Köşelerin tanımlanma sırasının yüzey normalinin yönüne olan etkisi.

Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi yüzey normalinin yönünü köşelerin tanımlanma sırası etkiler. Yüzey normali ve gözlemcinin bakış yönü gölgelemeyi etkiler. Möller-Trumbore algoritmasında köşelerin tanımlanma sırası saat yönünün tersi şeklindedir.

3.1.4. Möller-Trumbore ışın-üçgen kesişim testi

Möller Trumbore ışın-üçgen kesişimi 1997 yılında Möller ve Trumbore tarafından önerilmiştir [71]. Bu algoritma ışın-üçgen kesişiminde hızlı ve minimum depolamaya sahip bir ışın-üçgen kesişim testi sağlar.

Işın-üçgen kesişim testinin geometrik çözümünü gerçekleştirebilmek için;

1. Işın-üçgen kesişim noktasının koordinatları nedir?
2. Işın, üçgen düzlemine paralel mi geçiyor?
3. Üçgen düzlemi ışının arkasında mı kalıyor?
4. Kesişim noktası (P) üçgenin içinde mi dışında mı kalıyor?
5. Kesişim noktası (P) üçgenin ön yüzeyinde mi arka yüzeyinde mi kalıyor?

Soruları cevaplandırılmalıdır. Buna göre:

Işın-üçgen kesişim noktasının koordinatlarının bulunması: Işık ışının üçgen düzlemini P noktasında kestiğini düşünelim.

$$P = O + tR \quad (3.2)$$

P noktası, ışık ışınının orjin noktasından ışının yönü boyunca t uzaklıkta bulunan üçgen düzlemini ışının kestiği noktadır.

O ; ışının orjin noktasını temsil eder

R ; ışının yönünü temsil eder.

t ; ışının orjin noktasından P noktasına olan uzaklığı temsil eder.

P noktasını bulabilmek için t uzaklığının bilinmesi gerekir.

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (3.3)$$

Eşitlik (3.3) düzlem denklemidir. (x, y, z) değişkenleri düzlem üzerinde bulunan herhangi noktanın koordinatını tanımlar. (A, B, C) düzlem normalinin koordinatlarıdır. D değişkeni ise düzlemin orjinden geçmesini önleyen parametredir. P noktası bu düzlem üzerinde bulunan herhangi bir noktadır. P noktasını (P_x, P_y, P_z) olarak temsil edebiliriz. P noktası $Ax + By + Cz + D = 0$ düzlemi üzerinde olduğu için bu denklemi sağlar.

$$P = O + tR \quad (3.4)$$

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (3.5)$$

$$AP_x + BP_y + CP_z + D = 0 \quad (3.6)$$

$$A(O_x + tR_x) + B(O_y + tR_y) + C(O_z + tR_z) + D = 0 \quad (3.7)$$

$$AO_x + BO_y + CO_z + AtR_x + BtR_y + CtR_z + D = 0 \quad (3.8)$$

$$t(AR_x + BR_y + CR_z) + AO_x + BO_y + CO_z + D = 0 \quad (3.9)$$

$$t = -\frac{AO_x + BO_y + CO_z + D}{(AR_x + BR_y + CR_z)} \quad (3.10)$$

$$t = -\frac{N(A, B, C).O + D}{N(A, B, C).R} \quad (3.11)$$

$$t = -\frac{\text{skaler } \text{çarpım}(N, \text{orjin}) + D}{\text{skaler } \text{çarpım}(N, R)} \quad (3.12)$$

Denklem (3.4)'de t değişkeni yerine Denklem (3.12) yazılarak kesişim noktasının koordinatları bulunur.

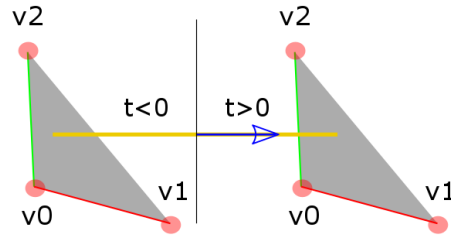
Işının, üçgen düzlemine paralel geçip geçmediğinin bulunması: Işının üçgen düzlemine paralel olması demek ışının düzlem normalini dik kesmesi demektir. Bu bilgiye erişebilmek için ışın ile düzlem normalinin skaler çarpımının yapılması gerekir. İki vektör büyüklüğünün skaler çarpımı bizlere bu vektörler arasındaki açıyı verecektir. Işın vektörü ile düzlem normali vektörü birbirlerine dik ise bu iki vektörün skaler çarpımının sonucu 0 olmalıdır.

P noktası kesişim noktası olduğu için ışının düzleme paralel olduğu durumda P noktasının koordinatları elde edilemez. Bu nedenle algoritmayı oluştururken öncelikle ışının üçgen düzlemine paralel olup olmadığı kontrol edilmelidir. Paralel değilse kesişim noktası (P) hesaplanılmalıdır.

$$\text{skaler } \text{çarpım}(N, R) \quad (3.13)$$

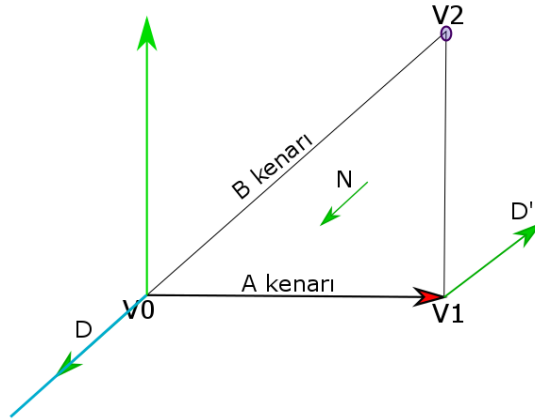
Denklem (3.13) ile düzlem ile ışının paralel olup olmadığı bilgisi elde edilebilir.

Üçgen düzleminin ışının arkasında kalıp kalmadığının belirlenmesi: Üçgenin ışığın arkasında olup olmadığı Denklem (3.12) kullanılarak t değişkeninin aldığı değerle öğrenilebilir. t değişkeni ışın orjininden kesişim noktasına olan uzaklığı temsil etmektedir. $t > 0$ ise kesişim noktası ışının önünde kalıyor demektir. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi $t < 0$ ise kesişim noktası ışının arkasında kalıyor demektir. $t < 0$ olduğu durumlar için kesişim noktası hesaplanmaz.



Şekil 3.7. Işının üçgen düzleminde konumu.

Kesişim noktası (P)’nin üçgenin içinde kalan bölgede olup olmadığının bulunması: Bu işlemi anlatabilmek için Şekil 3.8’de gösterildiği gibi bir kenarı x eksenine hizalı bir üçgen düzlemi düşünelim. x eksenine hizalı A kenarı v_0-v_1 , B kenarı v_2-v_0 ve C kenarı v_1-v_2 köşelerine sahiptir. A ve B kenarlarını temsil eden vektörlerin çapraz çarpımlarından, bu iki vektöre dik bir vektör (D) elde edilir. ‘D’ vektörü ile üçgen normal vektörünün skaler çarpımı; D vektörü ile normal vektörü arasındaki açı hakkında bize ipuçları sunar. Sonuç değeri > 0 ise ‘D’ vektörü yüzey normal vektörü ile aynı yöndedir, sonuç değeri < 0 ise ‘D’ vektörü yüzey normali ile zıt yöndedir ve iki vektör arasındaki açı $90^\circ-180^\circ$ arasındadır.



Şekil 3.8. D ve D' vektörleri zıt yönlüdür.

Sorunun cevabını bulabilmek için bu bilgiler ışığında senaryoyu değiştirelim. $A=(v_1-v_0)$, $B=(P-V_0)$ olarak düşünelim. A ve B vektörlerinin vektörel çarpımı sonucunda oluşan vektöre 'D' vektörü olarak isimlendirelim. P noktası üçgenin içinde bulunuyorsa A kenarının sağ tarafında kalmaktadır. P noktası üçgenin dışında bulunuyorsa A kenarının sol tarafında bulunur. D vektörü ile üçgen normalinin skaler çarpım sonucu > 0 ise P noktası A kenarının sol tarafında, < 0 ise A kenarının sağ tarafındadır. Bu bilgi, skaler çarpımın açı değeri hakkında verdiği ipucuyla kazanımlandır.

Tüm üçgen kenarları için bu süreç işlenir. Saat yönünün tersi yönde P noktası gözlemlendiğinde, P noktası üçgen kenarlarının hepsinin sol tarafında kalıyorsa, P noktasının üçgenin içinde yer aldığını, en az bir tane kenarın sağ tarafında kalıyorsa üçgenin dışında yer aldığı söylenebilir. P noktasının üçgenin içinde mi dışında mı kalıyor testinin sözde kodu aşağıda verilmektedir.

1) (V_0, V_1, V_2) köşelerinden oluşan üçgenin A, B, C kenarlarını hesapla:

$$Vec3f A = V_1 - V_0$$

$$Vec3f B = V_2 - V_1$$

$$Vec3f C = V_2 - V_0$$

- 2) Başlangıç noktaları üçgenin her bir köşesi, bitiş noktaları kesişim noktası olan ‘D’ vektörleri bulunur:

$$Vec3f D_0 = P - V_0$$

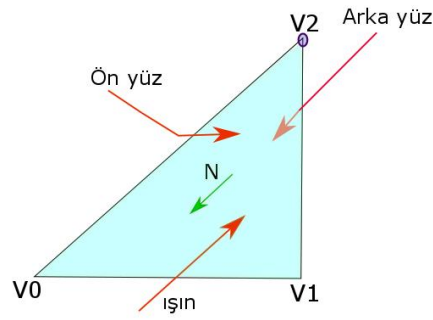
$$Vec3f D_1 = P - V_1$$

$$Vec3f D_2 = P - V_2$$

- 3) D vektörü ve A, B, C kenarları arasında vektörel çarpım yapılır. Vektörel çarpım sonucunda elde edilen vektör üçgenin normali ile skaler çarpıma tabi tutulur. Skaler çarpım sonucu >0 ise “kesişim noktası (P) referans alınan kenarın sağ tarafındadır.” Kesişim noktası (P) tüm kenarların sağ tarafında yer alıyorsa üçgenin içindedir.

$$if \left(\begin{array}{l} skaler\ çarpım(N, vektörel\ çarpım(A, D_0)) > 0 \\ skaler\ çarpım(N, vektörel\ çarpım(B, D_1)) > 0 \\ skaler\ çarpım(N, vektörel\ çarpım(C, D_2)) > 0 \end{array} \right) return\ true;$$

Kesişim noktası (P) üçgenin hangi yüzeyinde olduğunun bulunması: Işın-üçgen kesişim noktasında ışına bakan yön, üçgen yüzeyinin ön yüzüdür. Işınla aynı yönde yüzey normaline sahip olan yön ise, üçgenin arka yüzüdür. Ön-arka yüz testi için önceden yapılan hesaplamalar kullanılabilir. Hesaplamalarda üçgen yüzeyini temsil eden köşelerin tanımlanma yönünün belirlenmesi gerekir. Üçgen köşelerin tanımlanma yönü o yüzeyin normalinin yönünü değiştirir. Işın-üçgen kesişim testinde üçgenler, saat yönünün tersi yönünde alınan köşelerle tanımlanır. Yüzeyin normal vektörü ile ışık ışını vektörünün skaler çarpımının <0 olması, bu iki vektörün farklı yönlere baktığını ifade eder. Vektörlerin farklı yönlere bakması yüzeyin ön yüz olduğunu ifade eder. Şekil 3.9.’da üçgen yüzeyinin ön/arka yönlerinin belirlenme işlemi gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Üçgen düzleminin ön ve arka yüzleri.

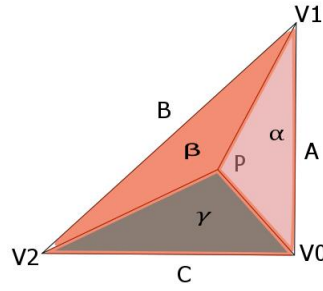
Möller-Trumbore algoritması barisentrik koordinatları kullanır. Üçgen üzerinde yer alan herhangi bir noktanın konumu kenarların belirli bir katsayı değeri ile çarpılmasıyla bulunabilir. Kenarları çarpmada kullanılan bu katsayı değerlerine barisentrik katsayılar denir. Barisentrik koordinatlar kullanarak noktanın üçgen içerisindeki konumu Eşitlik (3.14) kullanarak hesaplanabilir.

$$P = \alpha A + \beta B + \gamma C \quad (3.14)$$

A, B, C üçgenin kenarlarıdır. α , β , γ katsayıları $\alpha + \beta + \gamma = 1$ eşitliğini sağlayan gerçek sayılardır. Bu katsayılara barisentrik katsayılar denir ve $\alpha \geq 0, \beta \geq 0, \alpha + \beta \leq 1$ eşitliğini sağlamalıdır.

P noktasının üçgenin içinde olabilmesi için barisentrik katsayıları $0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 1$ eşitliğini sağlamalıdır. Bu katsayılardan herhangi birinin 0'da küçük ve 1 değerinden büyük olması P noktasının üçgenin dışında olduğunu gösterir. Katsayı değerleri 0 ve 1 değerlerine sahip olabilir. Bu P noktasının üçgenin dış çizgilerinin tam üstünde olduğunu gösterir.

Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi üçgenin V0 köşesinden başlanılarak A (V1-V0) kenarı boyunca α kadar, B (V2-V1) kenarı boyunca β kadar gidildiğinde üçgen içinde istenilen herhangi bir noktaya gitmek mümkündür.



Şekil 3.10. Barisentrik koordinat.

Möller-Trumbore ışın-üçgen kesişim algoritması barisentrik koordinatları kullanır. Işın-üçgen arasındaki kesişimi hesaplamak için ışın denklemi ile barisentrik koordinatlarla temsil edilen üçgen düzleminin eşitlenmesi gerekir. Algoritmanın amacı barisentrik koordinatları elde etmektir.

$$O + tD = (1 - \alpha - \beta)A + \alpha B + \beta C \quad (3.15)$$

$$O + tD = A + \alpha(B - A) + \beta(C - A) = P \quad (3.16)$$

$$O - A = -tD + \alpha(B - A) + \beta(C - A) \quad (3.17)$$

$$\begin{bmatrix} -D & (B - A) & (C - A) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = O - A \quad (3.18)$$

$$\begin{bmatrix} -D & (B - A) & (C - A) \end{bmatrix} = M \quad (3.19)$$

$$M \begin{bmatrix} t \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = O - A \quad (3.20)$$

$$\begin{bmatrix} t \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = M^{-1}(O - A) \quad (3.21)$$

$$(B - A) = M_1, (C - A) = M_2, (O - A) = T \quad (3.22)$$

$$\begin{bmatrix} t \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = M^{-1} T \quad (3.23)$$

Kramer yöntemi kullanılarak Eşitlik (3.20) 'nin çözümü elde edilir.

$$\begin{bmatrix} t \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \frac{1}{\begin{vmatrix} -D & M_1 & M_2 \end{vmatrix}} \begin{bmatrix} \begin{vmatrix} T & M_1 & M_2 \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} -D & T & M_2 \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} -D & M_1 & T \end{vmatrix} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

$$|A \quad B \quad C| = -(Ax C).B = -(Cx B).A \quad (3.25)$$

Eşitlik (3.25)'den faydalanılarak Eşitlik (3.24), Eşitlik (3.26) şeklinde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} t \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \frac{1}{(Dx M_2).M_1} \begin{bmatrix} (Tx M_1).M_2 \\ (Dx M_2).T \\ (Tx M_1).D \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

3.1.5. Sonlu elemanlar yöntemi ile üçgenlere bölme

Sonlu elemanlar yöntemi (FEM: Finite element method) karmaşık matematik ve mühendislik problemlerini basite indirgeyerek çözen bir sayısal yöntemdir. Problem sonlu elemanlar diye isimlendirilen daha basit, küçük, birbirlerine bağlı parçalara ayrılır. Her bir parça için yapılan çözümler birleştirilerek tüm sistemin çözümü elde edilir.

Sonlu elemanlar yönteminin 3 temel özelliği vardır [72]. İlki geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi, daha küçük ve basit alt bölgelere ayrılır. İkincisi çözüm bölgesinde yer alan her elemanın bilinmeyen parametreleri fonksiyonlar tarafından

temsil edilir. Üçüncüsü ise zamana bağlı olarak elemanların çözümleri birleştirilerek büyük problem çözülür.

Gerçek hayatta yüzeyler karmaşık yapıdadır. Yüzeylerin modellenmesi oldukça zordur. Yüzeylerin tam olarak matematiksel modellenmesi için yüzeydeki tüm noktaların tanımlı olması gerekir. Pratikte bu durum mümkün değildir. Yüzeyler yüzey üzerinden alınan örnekleme noktaları ile modellenir. Örnekleme noktalarına referans noktaları adı verilir. Referans noktalarının seçilme yöntemi ve sayısı fiziksel yüzeyin temsil edilme hassasiyetini etkiler.

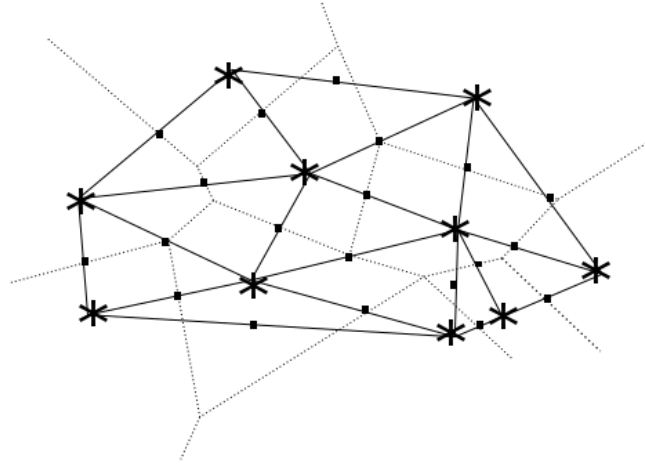
Yüzeyler, tek bir çeşit geometrik şekille parçalara bölünerek temsil edilebileceği gibi kare, üçgen, dikdörtgen gibi farklı geometrik şekillerin kullanılmasıyla da temsil edilebilir. Yüzeyi farklı geometrik şekillerle temsil etmek hesap yükünü ve karmaşıklığı artırır. Oysa ki karmaşık yüzeyler sadece üçgenler ile temsil edilebilir. Yüzeye ait sonlu sayıdaki referans noktası ilişkilendirilerek yüzeyler üçgenlere ayrılır.

Üçgenlemenin amacı yüzeyi, birbirleri üzerine binmeyen üçgen elemanları ile temsil etmektir [72]. Farklı amaçlara sahip birçok üçgenleme yöntemi (üçgenlerin eşkenar üçgenlere en yakın üçgenler olması, üçgen oluşturulmasında en kısa kenarın tercih edilmesi vb.) geliştirilmiştir. Greedy üçgenleme, Garey ve arkadaşlarının geliştirdiği üçgenleme yöntemi, Delaunay üçgenleme yöntemi, optimal üçgenleme yöntemi farklı amaçlar için geliştirilen üçgenleme yöntemlerinden bazılarıdır [73].

Üçgenleme yöntemlerinin sahip olacağı en önemli problem, çözümün başlangıç noktasına ve işleyiş sırasına bağımlı olmasıdır. Delaunay üçgenleme yöntemi, bağımsız bir yapıya sahiptir. Bu nedenle sonuç tekrarlanabilir ve tahmin edilebilir. Delaunay üçgenleme yöntemi ile oluşturulan üçgenlerin çevrel çemberleri üzerinde başka noktalar bulunmaz. En yakın noktaları birleştirmeye çalışır. Oluşturduğu üçgenler eşkenar üçgenlere en yakın üçgenlerdir. Böylece tercih edilmeyen ince ve uzun üçgenler oluşmaz. Karmaşık yüzeyin temsil edilmesinde Delaunay üçgenleme yöntemi tercih edilen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Delaunay üçgenleme yöntemi, 1934 yılında Delaunay tarafından geliştirilmiştir. Delaunay üçgenleme yönteminin 2 temel özelliği vardır. Bu özellikleri sayesinde diğer üçgenleme yöntemlerinden ayrılır. Bu özelliklerden biri minimum açılarını maksimize etmesi (eşaçılık özelliği), diğeri ise oluşturduğu üçgenlerin çevrel çemberleri üzerinde başka bir referans noktasının (çevrel çember kriteri) bulunmamasıdır. Delaunay üçgenleme yöntemleri ile oluşturulan üçgenlerin her biri eşsizdir. Bu özellikleri temel alarak (artırımlı algoritmalar, adım-adım algoritması, filliping algoritması, düzlem tarama algoritması, parçala fethet yöntemi, dewal algoritması, bowyer-watson algoritması, Lawson algoritması, R^{d+1} projeksiyon algoritması, fortune algoritması vb.) birçok Delaunay üçgenleme algoritması geliştirilmiştir [73].

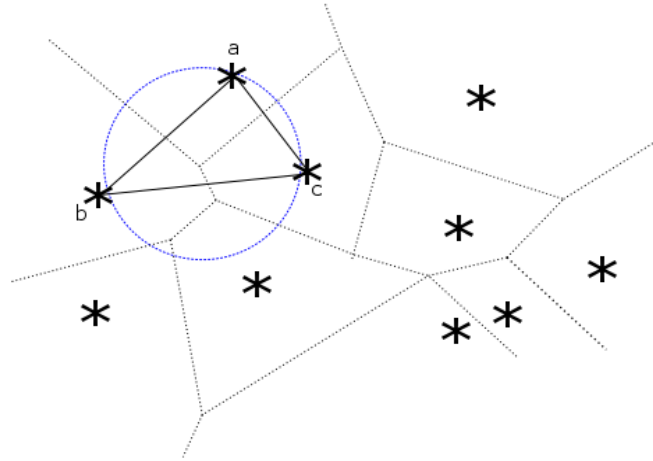
Delaunay üçgenlemesi ve Voronoi diyagramı grafiksel olarak birbirlerinin ikizidir. Bu üçgenleme yönteminin anlaşılabilmesi için öncelikle Voronoi diyagramlarının anlaşılması gerekir. Voronoi diyagramları Georgy Feodosevich Voronoy tarafından 1903 yılında önerilmiş bir veri parçalama yöntemidir. Düzlem veya uzayda bulunan bir noktalar kümesi, noktaların birbirlerine olan uzaklıkları göz önünde bulundurarak bölgelere ayrılır. Bu bölgelere Voronoi hücreleri adı verilir. Voronoi hücreleri birleşerek Voronoi diyagramlarını (çokgenlerini) oluşturur. Voronoi çokgenlerinin kenarları, nokta ile komşu noktaları birleştiren doğru parçalarının kenar orta dikmelerinden oluşur [74]. Şekil 3.11.'de Voronoi diyagramı ve Voronoi diyagramı kullanılarak elde edilen Delaunay üçgenleme gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Voronoi diyagramı ve Delaunay üçgenleme.

Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi yıldız işareti düzlem veya uzayda bulunan ve kümelenmesi gereken nesneleri ifade eder. Siyah noktalar ise bu nesnelerin birbirine olan uzaklıkların orta noktalarını ifade eder. Siyah noktaların birbirlerine bağlanması sonucunda voronoi diyagramı elde edilir. Voronoi diyagramından Delaunay üçgenler grubu oluşturulur. Bu üçgenleme orta noktalara ulaşmada yol göstericidir [74]. Delaunay üçgenleme, Voronoi diyagramı birbirlerini tamamlamaktadır.

Delaunay üçgenlemesi Voronoi diyagramı elde edildikten sonra kolaylıkla elde edilebilir. Voronoi diyagramının köşeleri Delaunay üçgenlemesinde oldukça önemlidir. Delaunay üçgenlemesinin temel özelliklerinden biri olan çevrel çember kriteri uygulanarak Delaunay üçgenlemesi elde edilebilir. Şekil 3.11.'de yer alan voronoi diyagramından bir kesit alalım ve Delaunay üçgenlemesinin oluşumunu inceleyelim.



Şekil 3.12. Voronoi diyagramından Delaunay üçgenlemesinin elde edilmesi.

Şekil 3.12.'de görüldüğü gibi Voronoi diyagramının köşesi çevrel çemberin merkez noktası olarak alınır ve çemberin üzerinde (a, b, c) nesneleri içerir. Bu yapı Delaunay üçgenlemesinin temelini oluşturur. Voronoi diyagramının köşeleri aslında Delaunay üçgenlemesinde bir üçgen yüzüne denk gelir. Delaunay üçgeninin her bir köşesi de Voronoi diyagramının bir yüzüne denktir. Bir köpüğün oluşturduğu boloncuk gibi birbirlerine yakın iki boloncuk büyütülerek birbirlerine değdiğinde bu iki boloncunun keştiği noktada bir çizgi oluşur. Voronoi diyagramları bu şekilde su boloncuklarına benzetilebilir. Voronoi diyagramında bulunan iki köşe noktası bu köşe noktalarına karşılık gelen yüzler birbirleri ile kesişime uğruyorsa eğer bu iki yüzün ortak bir Delaunay kenarına sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Voronoi diyagramının oluşturulmasına gerek kalmadan doğrudan Delaunay üçgenlemesinin gerçekleştirilmesini sağlayan yöntemlerde vardır. Bu çalışmada Delaunay üçgenlemesi Voronoi diyagramı temel alınarak gerçekleştirildiğinden bu yöntemlere değinilmemektedir.

Bu tez çalışmasında Voronoi diyagramlarının oluşturulması ve Delaunay üçgenleme hesabı için MConvexHull kütüphanesinden faydalanılmıştır. MConvexHull kütüphanesi, 2B, 3B ve daha yüksek boyutlara sahip referans noktaları için kullanılabilir. Kütüphane C Sharp kullanılarak yazılmıştır. MConvexHull

kütüphanesi QHull uygulamasından [75] yola çıkarak farklı yaklaşımlar ve veri yapıları kullanılarak geliştirilmiştir. QHull, convex hull, Delaunay üçgenleme ve Voronoi diyagramlarını hesaplar. QHull uygulaması convex hull oluşturulmasında QuickHull algoritmasını kullanır.

QuickHull algoritması böl ve fethet prensibine göre çalışır. Ortalama zaman karmaşıklığı $O(n \log n)$ 'dir. QuickHull algoritmasının sözde kodu aşağıda verilmektedir [76].

1. En büyük ve en küçük x değerlerine sahip noktalar bulunur. Bu noktalar (a ve b noktaları) kümeyi ikiye ayırır. ConvexHull(a,b)
2. a ve b noktaları arasında bir çizgi çiz. Bu çizgi noktaları üst ve alt şeklinde iki ayrı kümeye ayırır.
3. Üst kümeye ait ab doğrusuna en uzak olan noktayı(p) bul, a ve b noktaları arasına ekle. ConvexHull(a,p,b)
4. ConvexHull(a,p,b) ile oluşan üçgenin içinde kalan noktaları ele.
5. ap ve pb doğruları için 3. ve 4. Adımları tekrarla.
6. Üst kümede nokta kalmayacak şekilde işlemlere devam et. Ve Alt küme için aynı adımları gerçekleştir.

Bu adımlar 3B uzay içinde geçerlidir. 3B uzayda düzlemler oluşturulur ve adımlar düzlemler için yinelemeli olarak yapılır.

Algorithm 1: CUDA kernel function for DSRM

Input : triangleList, sunInfoList
Output: diffuseRad, directRad, globalRad

```

1 while time < sunInfoListLength do
2   sunNormal ←
     calcSunNormalize(azimuth, altitude)
3   for
     x ← threatIdx.x + blockDim.x * blockIdx.x;
     x < triangleListLength;
     x ← x + blockDim.x * gridDim.x do
4     triangleNormal ←
       calcTriangleNormalize(triangleList[x].v0,
         triangleList[x].v1, triangleList[x].v2)
5     seeSun ←
       sunSee(sunNormal, triangleNormal)
6     if seeSun then
7       intersected ← false
8       midPoint ← triangleList[x].midPoint
9       for y ←
         threatIdx.y + blockDim.y * blockIdx.y;
         y < triangleListLength;
         y ← y + blockDim.y * gridDim.y do
10        if !intersected then
11          intersected ←
            testIntersection( midPoint,
              sunNormal, triangleList[y])
12        end
13      end
14      diffuseRad[x] ←
        triangleList[x].diffuseList[time] +
        diffuseRad
15      if intersected then
16        globalRad[x] ←
          globalRad[x] + diffuseRad[x]
17      else
18        directRad[x] ← directRad[x] +
          triangleList[x].directList[x]
19        globalRad[x] ← globalRad[x] +
          directRad[x] + diffuseRad[x]
20      end
21    end
22  end
23  time ← time + 1
24 end

```

Şekil 3.18. GPU-DSRM modelinin CUDA kernel fonksiyonu.

3.2. GPU-Dinamik Güneş Radyasyonu Modeli

Güneş enerjisi sürdürülebilir bir kent hedefinde aktif ve pasif sistemlerin çokça faydalandığı yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisinden optimum şekilde yararlanan konutların ve kentlerin oluşturulabilmesi için binalar üzerinde güneş radyasyonu analizlerinin en doğru şekilde yapılması gerekmektedir. Analizin doğruluğu karmaşık kentsel ortamlarda bulunan binaların bütüncül analizine ve modelin etkinliğine bağlıdır.

Hızlı bir gelişim ve değişim içerisinde olan kentlerin radyasyon analizleri, kentin bulunduğu çevre ve şartlar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Bu durum tek bir konut tasarımı için bile büyük ölçekli analizlere, yüksek hesap gücüne ihtiyaç duyarken; optimum tasarım parametrelerin elde edilebilmesi için pasif tasarım parametrelerinin çeşitliliği ile oluşan konut tasarım ve kent oluşum senaryolarının her birinin radyasyon analiz sonuçlarını elde etmek haftalar sürebilir. Bu durum, optimum tasarım parametrelerini elde etmek isteyen kullanıcılar için can sıkıcıdır. Sürdürülebilir bir çevre hedefi ile konut tasarım ve kent oluşum senaryolarının radyasyon analiz sonuçları makul süreler içerisinde alınmalıdır.

Kentsel ortamlarda gölge analizlerini dikkate alacak şekilde binalar üzerinde global güneş radyasyonu analizi için birçok model geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller ve yapılan çalışmalara Bölüm’de yer verilmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar bilim dünyasına önemli katkılar sağlamıştır, fakat analiz süresi bakımından uygulamanın performansı da çok önemlidir. Cevaplama süresi kullanıcı dostu bir uygulama için önemlidir.

Çalışma süresini azaltmak için paralel hesaplama ortamları veya özel donanım cihazları (FPGA ve GPU) gibi yazılım teknikleri ve yüksek performanslı bilgisayar kümeleri uygulamalarda tercih edilmektedir. Bilgisayar kümeleri daha esnek bir hesaplama ortamı sağlasa da, çok çekirdekli sistemler, programlama kolaylıkları ve daha küçük boyutlarda daha iyi fiyat-performans oranına sahip olması nedeniyle

mevcut çalışmalarda daha fazla tercih edilmektedir. Bu teknikler sayesinde hızlı ve daha doğru hesaplamalar yapılabilmektedir.

Bu bölümde, DSRM modelinin çalışma süresini azaltabilmek için yapılan CPU-DSRM uygulamasının yazılım iyileştirmeleri ve GPU üzerinde çalıştırabilmek için yeniden tasarlanan GPU-DSRM modeli anlatılmaktadır. GPU-DSRM modeli ile karmaşık ve büyük ölçekli kentlerde binaların güneş radyasyon analizleri daha kısa sürede yapılabilmektedir. Kent planlayıcıları, mimarlar, inşaat mühendisleri, enerji yatırımcıları hatta bireyler kolay ve hızlı bir şekilde konut tasarımları ve kent oluşum senaryolarını inceleyebilmekte ve bu gelişimle birlikte tasarım aşamasında meydana gelen en ufak bir değişiklik için saatlerce beklemek zorunda kalınmadan analizler yapılabilmektedir.

Yüksek performanslı hesaplama tekniklerine ihtiyaç duyan uygulamalarda GPU mimarilerinden faydalanmak son zamanlarda çok sık kullanılan bir yaklaşımdır. GPU mimarisi, çok sayıda çekirdek içeren tek komut çok veri (SIMD: Single instruction multiple data) modelini uygular [53]. Bilim dünyası, GPU çekirdeklerinin eşzamanlı hesap yapabilme yeteneğini kullanarak uygulamalarını hızlandırmak için GPU teknolojisinden faydalanmaktadır.

Piyasadaki GPU kartlarının her biri özgün mimari yapıya sahiptir, bu nedenle seri olarak geliştirilmiş bir uygulamanın paralelleştirebilmesi için, kullanılan teknolojiye göre algoritmanın yeniden tasarlanması gerekir. Mimarinin karmaşık bir yapıda olması GPU'dan faydalanmak isteyen yazılımcılar için oldukça can sıkıcıdır [54]. NVIDIA şirketi tarafından GPU mimarisinin gücünü kullanarak genel amaçlı problemlerin çözümünde kullanılmak üzere CUDA programlama platformu geliştirilmiştir. Temel paralel programlama bilgisine sahip ve yüksek seviyeli dillerle program yazabilen bir programcı NVIDIA CUDA programlama platformunu kullanarak GPU temelli uygulama geliştirebilir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, NVIDIA grafik kartlarının coğrafik bilgi sistemleri uygulamaları için yaygın olarak kullanılan bir GPU teknolojisi olduğu görülmektedir [77].

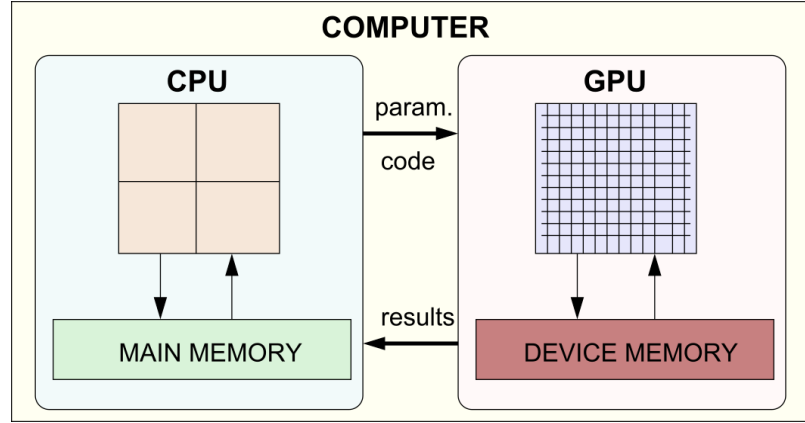
3.2.1. CUDA mimari yapısı

Çok çekirdekli CPU mimarileri çok iş parçacıklı programlama modeli aracılığıyla sınırlı miktarda paralellik sağlar. Ancak artan performans ihtiyacını karşılamamanın hala çok uzağındalar. CPU'ların doğası gereği, komutları sırasıyla icra etmesi, CPU'nun performans ivmesini baltalamaktadır. Paralellik yüksek performans talebi için bir çözüm olarak sunulabilir. Paralellik donanımsal modellerle sağlanabilir: Dağıtık bellek modeli, paylaşılabılır bellek modeli ve hibrit modeller.

Dağıtık bellek modelinde, yüksek hızlı ağ altyapısı kullanılarak birçok bilgisayar birbirlerine bağlanarak bir paralel sistem oluşturulur. Bu şekilde elde edilen paralellik, görev seviyesindedir. Dağıtık bellek modelinde, farklı bilgisayarlar birbirlerine ile iletişim içinde olmak zorundadır. Bu nedenle bu modelde iletişim ve senkronizasyon problemleri oluşabilir. Sistem ölçeklenebilir ve esnek bir yapıya sahiptir fakat programlaması oldukça zordur.

Paylaşılabılır bellek mimari yaklaşımında aynı anakart üzerinde ana belleği paylaşan birden fazla CPU vardır. Bu mimari yaklaşımın en iyi bilinen örneklerinden biri çoklu CPU sistemleridir. Genellikle iş istasyonu veya sunucu bilgisayarların kullandığı bir yapıdır. Çoklu CPU sistemleri pahalı sistemlerdir ve doğası gereği sabit bir yapıya sahiptir. Ölçeklenebilirliği iyi değildir, bellekte darboğaz problemleri ve bellek tutarlılığı problemleri yaşanabilir. Buna rağmen dağıtık bellek modeliyle karşılaştırıldığında paylaşılabılır bellek modelinde programlama yapmak daha kolaydır. Derleyici, işlemciler arasındaki görev dağılımını gerçekleştirmek gibi sıkıcı görevleri üstlenir.

GPU mimarisi, paylaşılabılır bellek mimari yapısına sahiptir. Ortak ve paylaşılan bir bellek ile birbirlerine bağlı binlerce GPU çekirdeği içerir. GPU hesaplaması yukarıda bahsedilen yaklaşımdan farklıdır. Şekil 3.13.'de görüldüğü gibi GPU ana sisteme bağlıdır. Paylaşılabılır bellek mimarisine sahip çoklu CPU sistemleri ana sisteme bağlı değildir. Bilgisayar kaynaklarının yetebildiği noktaya kadar CPU eklemeleri veya çıkarmaları yapılabilir.



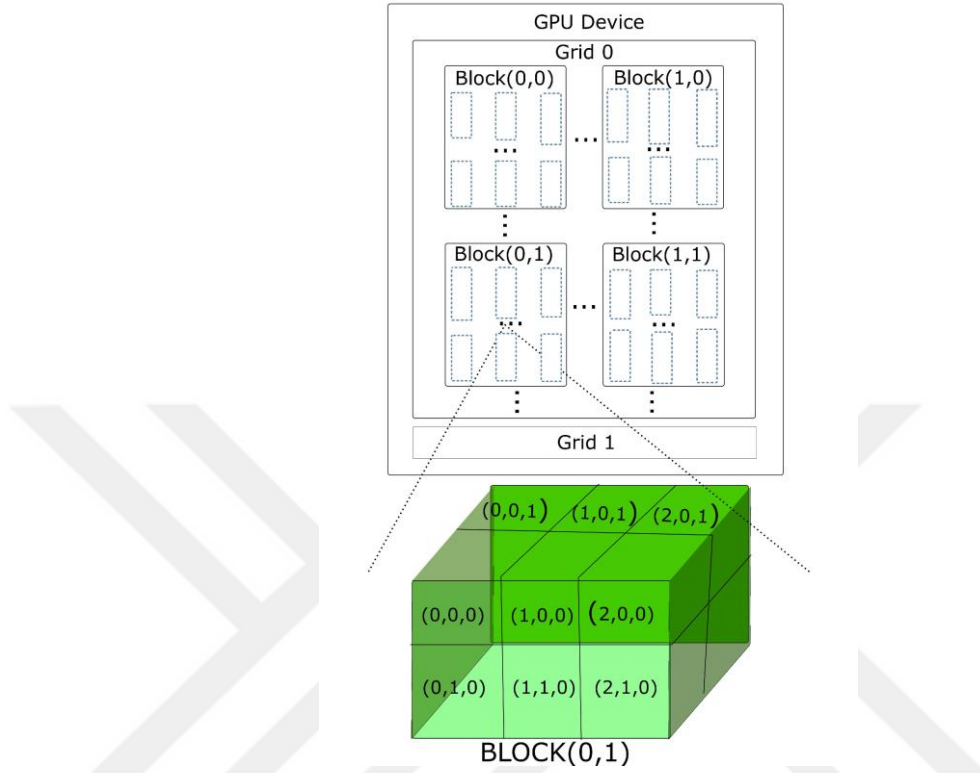
Şekil 3.13. Yüksek performanslı hesaplama için genel amaçlı CPU-GPU mimarisi.

GPU mimarileri veri seviyesinde paralellik sağlar. Bu yapısı gereği bazı uygulamalar için GPU mimarileri üstünlük sağlar [78]. Yüksek performanslı gereksinimlere bir çözüm olarak, fiyat-performans avantajı ve kullanım kolaylığı nedeniyle GPU destekli yüksek performanslı hesaplama sistemleri yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Tek bir GPU ile yüksek hesaplamalı sistemler yapılabileceği gibi tek bir anakart üzerine birden fazla GPU kartı takılabilir veya birçok GPU sunucusu hibrit bir paralel sistem şeklinde yüksek hızlı ağ ile birbirlerine bağlanabilir.

CUDA, GPU üzerinde genel amaçlı problemlerin çözümü için kullanılan paralel hesaplamaların yapılabilmesini sağlayan bir programlama modelidir [79]. CUDA programlama modeli hiyerarşik bir düzene sahiptir ve iş parçacığı bloklarından (warp), ızgaralardan (grid), bloklardan (block) ve iş parçacıklarından (thread) oluşur (Bkz.Şekil 3.14.). Blok dizisi 1 veya 2 boyutlu, iş parçacığı dizisi 1,2 veya 3 boyutlu olabilir. İş parçacığı blokları içerisindeki iş parçacıkları aynı anda aynı komutu icra ederler. Bir iş parçacığı bloğu tipik olarak 32 iş parçacığı içerir. Her bir iş parçacığı içerisinde, yerel hafıza ve kaydediciler (register) vardır. İş parçacığı blokları içerisindeki iş parçacıkları, paylaşılabılır bellek aracılığıyla birbirleriyle bilgi alışverişinde bulunur.

CUDA programlama modelinin hafıza düzeni Şekil 3.15.'de verilmektedir. Şekil 3.15.'de görüldüğü gibi CUDA programlama modelinde yerel, paylaşılabılır ve global hafıza vardır. Her bir thread özel bir yerel hafızaya sahiptir. Her bir blok paylaşılabılır

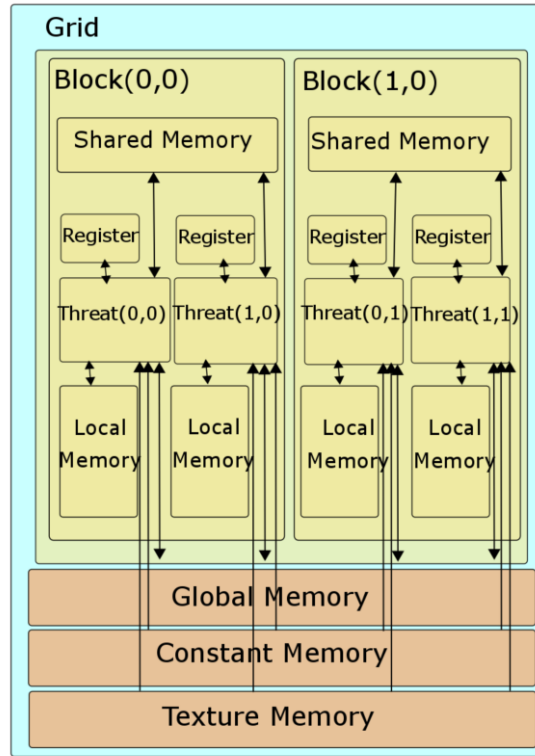
hafızaya sahiptir. Blok içerisindeki threadler paylaşılabılır hafıza ile birbirleriyle haberleşebilir. Tüm threadler aynı global hafızaya erişebilirler.



Şekil 3.14. CUDA programlama modelinin hiyerarşik düzeni.

CUDA programlama modelinde global, yerel hafıza ve kaydedicilerle birlikte doku (texture) ve sabit (constant) belleklerde bulunur. CPU ve GPU, bu hafıza birimlerini kullanarak birbirleriyle bilgi alışverişinde bulunurlar.

Doku bellek yalnızca okunabilir bir yapıya sahiptir. Kısıtlı bir depolama hacmi vardır. Bu yapı, performansı artırır ve bellek trafiğini azaltır. Grafik uygulamaları için tasarlanmıştır. Sadece okuma amaçlı kullanılacak veriler sabit bellekte, sabit belleğin kapasitesi yetmiyorsa doku bellekte tutularak sabit bellek ve doku belleğin hızlı ön belleklenebilir mekanizmasından faydalanılabilir [80]. Sabit bellek, sabit fonksiyonlar ile sabit fonksiyonların parametrelerinin tutulduğu bir alandır [81].



Şekil 3.15. CUDA programlama modelinin hafıza düzeni.

CUDA destekli NVIDIA, donanımsal olarak bir dizi akış çoklu işlemcisine (SM:streaming multiprocessor) (GPU cores) sahiptir. SM sayısı GPU'nun modeline bağlıdır. Her bir SM ise birçok skaler işlemci (SP:stream processor) içerir. Her bir mantıksal blok SM üzerine atanır. SM'ler üzerinde, farklı veriler üzerinde farklı işlemler icra edilir. Bir SM üzerindeki SP'lerde ise farklı veriler üzerinde aynı işlemler gerçekleştirilir. Bir uygulamanın hız performansı SM'lerin kullanım oranıyla değişmektedir. GPU'nun donanımsal kaynaklarından CUDA programlama modeli kullanılarak faydalanılabilir. CPU üzerinde çalıştırılan CUDA kaynak kodu host code, GPU üzerinde çalıştırılan CUDA kaynak kodu ise device code olarak anılır. Kernel fonksiyonlar, GPU üzerinde çalıştırılması istenen fonksiyonlardır. Çalışma esnasında her bir kernel çağrısı için mantıksal olarak yeni bir grid oluşturulur ve kernel fonksiyonu thread bloklarına bölünür [82]. Uygulamaya göre blok ve threadlerin sayısı değişiklik gösterir. CUDA üzerinde geliştirilen uygulama için uygun olan thread ve blok sayıları deneyimler sonucunda elde edilir, en optimum performans için GPU'nun tüm bloklarının kullanımda olması gerekir.

3.2.2. GPU-DSRM uygulaması

Bu bölümde güneş enerjisi potansiyelini daha hızlı ve hassas bir şekilde tahmin etmek için daha önceden geliştirilen DSRM, GPU mimarisi üzerinde çalışabilecek şekilde tekrar modellendi. Bu bölümde CUDA programlama modelinden faydalanarak GPU-DSRM yazılım aracının geliştirilmesi anlatılmaktadır. CPU üzerinde gerçekleştirilen DSRM modeline CPU-DSRM, GPU üzerinde gerçekleştirilen DSRM modeline GPU-DSRM ismi verilmektedir.

CPU-DSRM ile, istenilen ölçekte binaların üçgenlere ayrılması ve istenilen zaman aralıkları ile analizlerin yapılabilmesi amaçlanmıştır. Sınırlı işlem gücüne sahip geleneksel bilgisayarlar, giriş verileri büyüdüğünde uzun gecikmelere sebep olurlar [83]. Bu sebeple GPU'nun kullanımı bu problemin çözümü için en iyi çözüm yöntemi olabilir. Seri olarak tasarlanan CPU-DSRM modelinin, GPU mimarileri üzerinde çalışabilecek şekilde paralel formata dönüştürülmesi gerekir.

CPU-DSRM modeli GPU ortamında doğrudan yazılmamıştır. Yazılımda ve algoritmada bazı iyileştirmeler yapılmıştır. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

1. CPU-DSRM uygulamasının çalışma süresi çok uzun olduğundan, talep edilen zaman aralığındaki analiz sonuçları çok uzun bekleme sürelerinin sonunda elde edilmektedir. Bu yüzden her bir üçgene ait radyasyon hesaplamaları veritabanında tutulmak zorundadır. GPU-DSRM modelinde herhangi bir zaman aralığı için radyasyon hesaplamaları bu yolla daha çabuk bir şekilde yapılmaktadır. GPU ile hesaplamalar hızlı bir şekilde yapılabilirdiği için her bir üçgen için ayrı ayrı bireysel radyasyon değerlerinin tutulmasına gerek yoktur. Bunun yerine, her bir üçgenin radyasyon verilerinin ortalamaları hesaplanır ve disk yerine hafıza da bu bilgiler tutulur. İstenilen zaman aralığı için difüzyon, doğrudan ve global radyasyon değerlerinin ortalamaları bilgi olarak kullanıcıya verilir. Örneklem zaman aralığı için bu değerlerin ayrıntıları elde

edilmek istenirse programın analiz zaman tarihlerinin ayarlanması gerekir. Çok kısa sürede cevaplar alınabildiği için bu bir eksiklik olarak görülmemektedir. Veritabanının ortadan kalkması bu sürecin süresini önemli ölçüde azaltmıştır.

2. GPU-DSRM modelinde öncelikle bütün yüzeyler üçgenlere ayrılmaktadır ve tüm üçgenler arka-yüz tespit algoritmasına tabi tutulmaktadır. Üçgenlerin her birinin CPU platformunda öncelikle radyasyon hesaplamaları yapılır. Bu hesaplamalar yapılırken kesişime uğrayıp uğramadığı dikkate alınmaz. GPU platformlarında üçgenlerin güneşe dönük olup olmadığı testi paralel bir şekilde yapılır. Güneşe dönük olan üçgenlerin her biri diğer tüm üçgenlerle kesişim testine tabi tutulur ve bu testin sonuçlarına göre ortalama radyasyon değerleri hesaplanır. Yüzeyler, üçgenlere bölünmeden arka-yüz tespit algoritmasına tabi tutulsaydı eğer üçgenlerin hangi yüzeye ait olduğu bilgisinin tutulması ve analiz işlemi sırasında da hangi yüzeye ait olduğu sorgusunun sorulması gerekecekti. Üçgenlerin her birinin arka-yüz tespit algoritmasına tabi olması GPU hafızasına bilgi yazmak ve GPU hafızasından bilgi okumak ve sorgulamaktan daha az bellek ve iş yükü oluşturmaktadır. Böylelikle bir arama işlemi ve ekstra bir GPU veri transferinden kurtulundu. Bu şekilde bir yaklaşım performansın iyileşmesini sağladı.

Tüm bu iyileştirmeler ve GPU mimarisinin kullanımı ile CPU-DSRM modelinde günlerce beklemek zorunda kaldığımız analiz sonuçları GPU-DSRM modeli ile saniyelere düşmüştür.

Şekil 3.16.'da GPU mimari üzerinde çalışabilecek şekilde tekrar modellenen DSRM'in akış diyagramı görülmektedir. GPU-DSRM başlangıçta ilgilenilen binaların 3B planlarını ve güneş bilgilerini girdi olarak alır. Güneş bilgileri CPU-DSRM modelinden farklı olarak verilen konum ve saat dilimlerine göre CPU üzerinde hesaplanır ve bu bilgiler GPU'ya aktarılır. Tüm yüzeyler istenilen ölçekte sonlu elemanlar yöntemiyle üçgenlere ayrılır. Güneş bilgileri kullanılarak her yüzeye ait difüzyon ve doğrudan radyasyon değerleri hesaplanır. Her bir üçgen birimi için aşağıdaki işlem adımları yapılır:

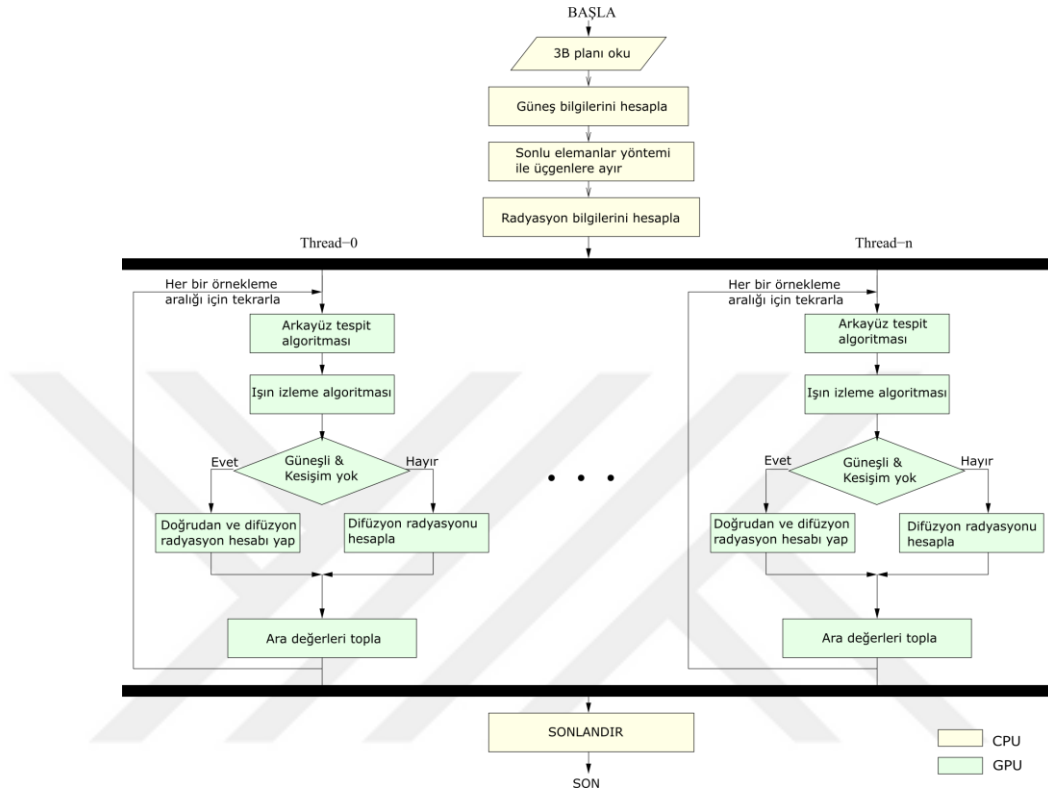
- 1) Arka-yüz tespit algoritması kullanılarak, üçgenin güneşe dönük olup olmadığı tespit edilir.
- 2) Güneşe dönük üçgenler, ışın izleme algoritmasına tabi tutularak başka bir üçgenle kesişimi test edilir.
- 3) Üçgen herhangi bir başka üçgenle kesişim gerçekleştiriyorsa doğrudan güneş ışığına maruz demektir. Global güneş radyasyonu için difüzyon ve doğrudan radyasyon değerleri toplanır.
- 4) Üçgen herhangi bir başka üçgenle kesişim gerçekleştiriyorsa doğrudan güneş ışığına maruz değildir. Global güneş radyasyonu için sadece difüzyon radyasyon değeri dikkate alınır.

Bu uygulamada yansıyan radyasyon hesabı ihmal edilmiştir. Yansıyan radyasyon hesabı yapılan birçok çalışmada ihmal edilmiştir. Çalışmanın daha ileri sürümünde yansıyan radyasyonda hesaba katılarak daha doğru analiz sonuçları elde edilebilir.

CPU-DSRM modelinde bina yüzeyleri öncelikle arka-yüz tespit algoritmasına tabi tutulur. Bu adım CPU-DSRM modelinde işlem yükünü hafifletir. GPU-DSRM modelinde ise bina yüzeyleri arka-yüz tespit algoritmasına tabi tutulmaz. Bina yüzeylerinin üçgenlere bölünmeden arka-yüz tespit algoritması kullanılarak test edilmesi daha sonraki radyasyon analizi işlemlerinde daha fazla bellek erişimine neden olmaktadır. Bina yüzeyi ölçeğinde arka-yüz tespit algoritmasının uygulanması, üçgenlerin karşılaştırılması aşamasında üçgenin hangi yüzeye ait olduğunun aranmasını gerektirir. Bu arama işleminin gerçekleştirilmesi, GPU belleğinde bu verinin tutulmasını gerektirir ve uygulamanın GPU belleğine erişimini arttırır. Bu durum hız performansını düşürmektedir. Bu nedenle yüzeyler öncelikle üçgenlere ayrılır ve üçgenlerin koordinatları kullanılarak arka-yüz tespit algoritması ve ışın izleme algoritmaları uygulanır.

Şekil 3.16.'da görüldüğü gibi GPU-DSRM modelinde sarı kutular CPU üzerinde gerçekleştirilecek işlemleri temsil eder. Yeşil renkli kutular ise GPU üzerinde gerçekleştirilecek işlemleri temsil eder. GPU üzerinde çalıştırılacak fonksiyon 2

parametre alır: Üçgen dizisini ve güneş bilgilerini. Her bir üçgen birimi, kendi içerisinde hem doğrudan hem de difüzyon radyasyon bilgilerini barındırır.



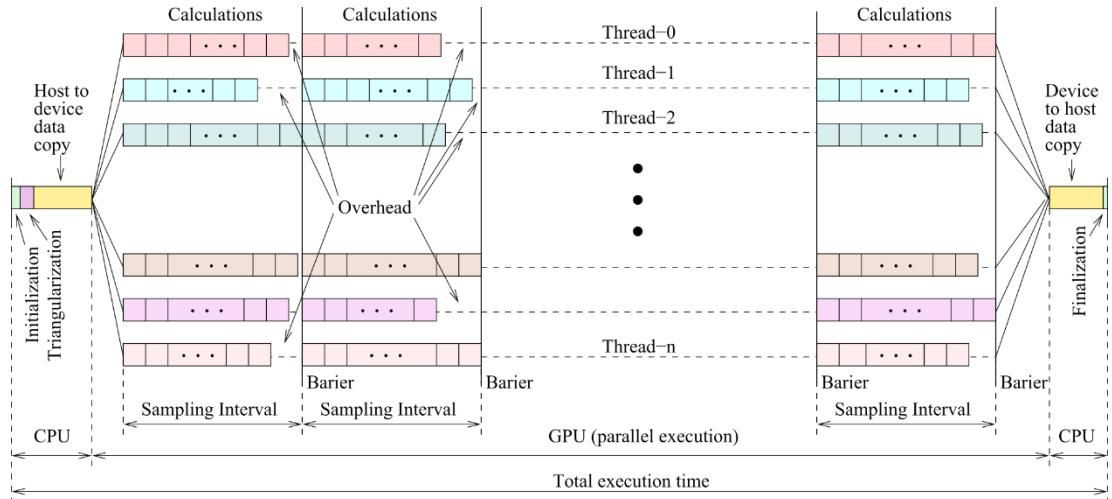
Şekil 3.16. GPU mimarisi için hazırlanan GPU-DSRM modelinin akış diyagramı.

GPU-DSRM modelinde, gölgeleme analizleri için analiz edilecek olan üçgen diğer tüm üçgenlerle kesişim testine tabi tutulur. Bu aşamada ışın-üçgen kesişim algoritması kullanılır. Blok içerisindeki ‘x’ boyutundaki iş parçacıkları (thread) analizi gerçekleştirilecek olan üçgenleri, ‘y’ boyutunda iş parçacıkları (thread) ise analiz edilecek üçgen dışındaki tüm üçgenleri temsil eder. ‘x’ boyutundaki iş parçacıkları (thread) arka-yüz tespit algoritması tarafından analiz edilen ve sonuç olarak ‘false’ değeri dönen üçgenlerdir. Sonuç olarak; bu üçgenler güneş ile aynı yönde olan üçgenlerdir. Paralel bir şekilde analiz edilecek bu üçgen, diğer tüm üçgenlerle keşim testine tabi tutulur. Herhangi bir iş parçacığı kesişim testine ‘true’ cevabı döndürürse, üçgenin doğrudan güneş radyasyonu almadığı anlaşılır. Güneş radyasyon hesaplamaları bu işlem sonuçlarına göre hesaplanır. Eğer ki güneşe dönük ve herhangi

başka bir üçgenle kesişime uğramıyorsa global radyasyon hesabı için hem doğrudan radyasyon hem de difüzyon radyasyon değerleri hesaba katılır.

CPU-DSRM modeli C-Sharp programlama dili ile Visual Studio platformu kullanılarak kodlanmıştır. Bu model seri olarak klasik çok çekirdekli CPU bilgisayarları üzerinde işlenir. Seri kod paralelleştirilmeye başlandığında kullanılan dil ve platform problem oluşturdu. CUDA mimarisi C-Sharp dilini desteklememektedir. Tüm projeyi C/C++ programlama dili kullanarak tekrar gerçekleştirmek oldukça zaman alıcı olacaktır. Bu düşüncelerle bir çözüm aranırken Altimesh şirketi tarafından geliştirilen Hybridizer kütüphanesiyle karşılaşıldı. Hybridizer kütüphanesi [84], herhangi bir donanım üzerindeki C-Sharp ve Java kodlarını CUDA için C++ diline çeviren bir derleyicidir.

GPU-DSRM modelini paralelleştirme hedefiyle, önceki kodun bazı bölümleri C++ diline çevirmek için Hybridizer kütüphanesi kullanılmıştır. GPU platformuna taşırken Delgado ve arkadaşları tarafından önerilen rehber takip edildi: Ön inceleme, geliştirme, test etme ve iyileştirme [56]. Ön inceleme aşamasında, DSRM modeli incelendi ve uzun çalışma süreleri gerektiren rutinler ortaya kondu. Yüzeylerin üçgenlere bölünmesi ve zamana ait güneş bilgilerinin elde edilmesi işlemlerinin icra süresi toplam çalışma süresinin ortalama 1%'ini oluşturmakta olup, küçük bir orandır. Ayrıca uygulama için bu yöntemlerin bir kere çalıştırılması yeterli olacaktır. Bu nedenle bu yöntemlerin CPU üzerinde çalıştırılmasına karar verilmiştir. Üçgen kesişim testleri yaklaşık olarak toplam çalışma süresinin 99%'unu oluşturmaktadır.



Şekil 3.17. Paralel program aktiviteleri ve senkronizasyon bariyeri.

Şekil 3.17.'nin sol tarafında, girdi verileri 'host''dan 'device''a aktarılmaktadır. Girdi verileri, talep edilen örnekleme aralığının her biri için CPU tarafında hazırlanır. Örnekleme aralığı ve üçgen biriminin boyutu hassasiyeti etkileyen parametrelerdir. GPU'ya transfer edilen veri, ilk zaman aralığı için GPU'da yapılan işlemlerde kullanılır. İlk zaman aralığı için yapılması gereken işlemler bittiği gibi, threadler bir sonraki örnekleme aralığı için hazır hale gelir. Talep edilen analiz süresi boyunca, işlemler tekrarlı bir şekilde çalıştırılır ve en son elde edilen sonuç verileri 'cihaz''ın hafızasından 'host''un global hafızasına aktarılır.

CPU ve GPU arasındaki veri transferi miktarı önemlidir. Veri alışverişinin çok fazla olması gecikmelere ve trafiğe neden olur. Bu nedenle aktarılabilecek verinin minimum seviyede olmasına dikkat edilmelidir. Bu çalışmada, paralel işlemlere geçmeden önce GPU hafızasına aşağıda belirtilen içerikler aktarılır:

- 1) Üçgenlerin koordinat bilgileri ve analiz edilmek istenen zaman aralığı için güneş açısı bilgileri
- 2) Örnekleme aralığı içinde (örneğin her 30 dk aralık için) her bir üçgen için bütün yılın doğrudan ve difüzyon radyasyon değerlerinin listesi.

Bu çalışmada sunulan her bir senaryo için girdi ve çıktı verileri hafızada yaklaşık 140 MB'lık yer tutmaktadır.

GPU-DSRM algoritmasında, threadler birbirleriyle iletişim halinde değildir. Threadler arasındaki senkronizasyon belirli zaman aralığında aktive edilen bariyerlerle sağlanır. Bariyerler, istenilen örnekleme zaman aralığının başlangıç ve bitişinde yer almaktadır. Örnekle bu durumu daha iyi açıklayabiliriz. Gün doğumu saatinin 8:30 olduğunu varsayalım. Verilen senaryonun radyasyon analizi her 30 dk.'da bir yapılmak isteniyor ve 6 aylık bir analiz sonucu isteniyor. Bu varsayımlar altında blok ve iş parçacıkları şu şekilde bir davranış sergiler: Blok yapısının x boyutunda yer alan iş parçacıkları güneş gören üçgenleri temsil eder. Blok yapısının y boyutunda yer alan iş parçacıkları tüm üçgenleri temsil eder. İlk senkronizasyon bariyeri yukarıdaki varsayımlar altında saat 9:00 için oluşturulur. Tüm iş parçacıkları ilk test işlemi için hazırdır. X boyutunda yer alan iş parçacıkları y boyutunda yer alan tüm iş parçacıkları ile kesişim testine tabi tutulur. X boyutundaki her bir iş parçacığı bariyerler arasında satırlar tarafından temsil edilir. Y boyutundaki her bir iş parçacığı ise bariyerler arasında kalan sütunlar tarafından temsil edilir. Satırda yer alan iş parçacıkları paralel bir şekilde sütunlarda yer alan iş parçacıkları ile işleme girer. Satırda yer alan iş parçacıkları kesişim testi cevabını aynı sürede almayabilirler. Y boyutunda yer alan ilk iş parçacığının temsil ettiği üçgenle de kesişebilir, son iş parçacığının temsil ettiği üçgenle de. Bu nedenle burada bir boş bekleme zamanı oluşur. Bu senaryo olabilecek en kötü senaryodur ve bu senaryonun oluşma olasılığı çok düşüktür. İş parçacıklarının çalışma süresi çok azdır. Bu nedenle göz ardı edilebilir. İlk örnekleme zaman aralığı için gerekli olan işlemler tamamlandıktan sonra bir sonraki örnekleme zaman aralığı için iş parçacıkları hazırlanır ve aynı işlemler tekrarlanır.

Bariyerler genel olarak verimsizliğe sebep olduğu düşünülür. Verimsizlik genellikle bir iş parçacığının gereksinimlerini karşılamak için diğer tüm iş parçacıklarının kullanılmak zorunda kaldığı durumlarda ortaya çıkar [85]. Bu uygulamada böyle bir durum yoktur. Bir sonraki örnekleme zaman aralığına geçilebilmesi için mevcut örnekleme zaman aralığı içindeki tüm iş parçacıkları işlerini tamamlaması gerekir. Bir sonraki örnekleme zaman aralığına ait işlemlerin yapılabilmesi için ortak bir değişkenin değer artışının yapılması gerekmektedir. Bariyerler sayesinde, bütün iş

parçacıklarının işlerinin bittiğinden emin oluruz. Aynı zamanda bir sonraki projemiz olan dağıtık bilgisayar mimarisinden faydalanarak daha hızlı analiz işlemlerinin gerçekleştirilmesi işlemine zemin hazırlanmış olur. Zaman aralıkları başka bilgisayarlara dağıtılarak çok daha büyük ölçekli alanların daha hassas analizleri daha kısa sürede gerçekleştirilebilir.

Gölgeleme analizleri için kullanılan Möller-Trumbore ışın-üçgen kesişim algoritması ve arka-yüz tespit algoritması kernel fonksiyon içerisinde uygulanır ve paralel bir şekilde çalıştırılır. GPU-DSRM modelinin kernel fonksiyonu Şekil 3.18.'de verilmiştir.

Algorithm 1: CUDA kernel function for DSRM

Input : triangleList, sunInfoList
Output: diffuseRad, directRad, globalRad

```

1 while time < sunInfoListLength do
2   sunNormal ←
     calcSunNormalize(azimuth, altitude)
3   for
     x ← threatIdx.x + blockDim.x * blockIdx.x;
     x < triangleListLength;
     x ← x + blockDim.x * gridDim.x do
4     triangleNormal ←
       calcTriangleNormalize(triangleList[x].v0,
         triangleList[x].v1, triangleList[x].v2)
5     seeSun ←
       sunSee(sunNormal, triangleNormal)
6     if seeSun then
7       intersected ← false
8       midPoint ← triangleList[x].midPoint
9       for y ←
         threatIdx.y + blockDim.y * blockIdx.y;
         y < triangleListLength;
         y ← y + blockDim.y * gridDim.y do
10        if !intersected then
11          intersected ←
            testIntersection( midPoint,
              sunNormal, triangleList[y])
12        end
13      end
14      diffuseRad[x] ←
        triangleList[x].diffuseList[time] +
        diffuseRad
15      if intersected then
16        globalRad[x] ←
          globalRad[x] + diffuseRad[x]
17      else
18        directRad[x] ← directRad[x] +
          triangleList[x].directList[x]
19        globalRad[x] ← globalRad[x] +
          directRad[x] + diffuseRad[x]
20      end
21    end
22  end
23  time ← time + 1
24 end

```

Şekil 3.18. GPU-DSRM modelinin CUDA kernel fonksiyonu.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde DSRM ve GPU-DSRM uygulamalarının hazırlanması ve doğrulanması için gerekli olan altyapı çalışmalarından ve deneysel çalışmalardan bahsedilmektedir. Bölüm 4.1’de global güneş radyasyonu modelinin GPU-DSRM ve DSRM uygulamalarına ait uygunluklarının test edilmesi ile ilgili yapılan çalışma, Bölüm 4.2’de senaryo dosyalarının oluşturulmasında temel alınan çalışma alanı, Bölüm 4.3’de bina yerleşim planlarının farklılıklarını analiz etmek için oluşturulan senaryo dosyaları, Bölüm 4.4 ve Bölüm 4.5’de sırasıyla CPU-DSRM ve GPU-DSRM uygulamalarına ait deneysel çalışmalar anlatılmaktadır.

4.1. Global Güneş Radyasyonu Modelinin Uygunluğunun Test Edilmesi

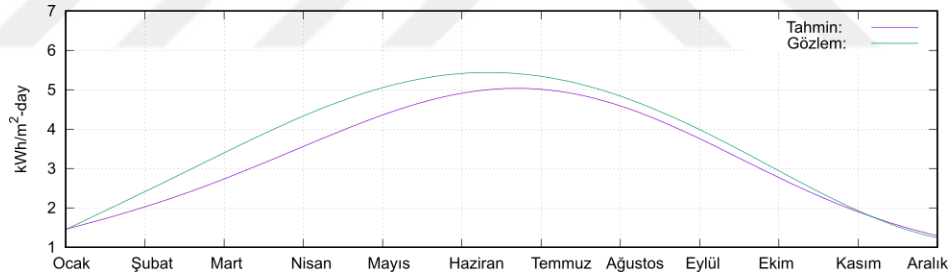
DSRM uygulaması ile Türkiye’nin herhangi bir bölgesi için binaların güneş radyasyon analizi dinamik gölge analizleri de dikkate alınarak kabul edilebilir bir doğrulukta yapılması hedeflenmiştir. Bu bakımdan, hesaplamaya dahil edilen bina yüzeyleri, gölge analizi, örnekleme aralığı gibi özellikleri bakımından literatürdeki çalışmalardan farklılıklar göstermektedir.

Binaların güneş radyasyonu analizi için hem yatay hemde eğimli yüzeylerin hesaplamalara dahil edilmesi gerekir. Bu yüzeylerdeki radyasyon tahmini için günışığı süresi, bulutluluk, nem, sıcaklık, toplam yağış gibi farklı meteoroloji verilerini kullanan farklı matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bunların bir kısmı coğrafik bölgeye özgü modeller olduğu gibi, veri elde edilemediği koşullar için kullanılabilecek genel modeller de vardır. Bölgeye özgü geliştirilen modeller, daha hassas ve daha az hata ile radyasyon tahminlerinin yapılmasını sağlar. Genel modeller ise tek bir bölge

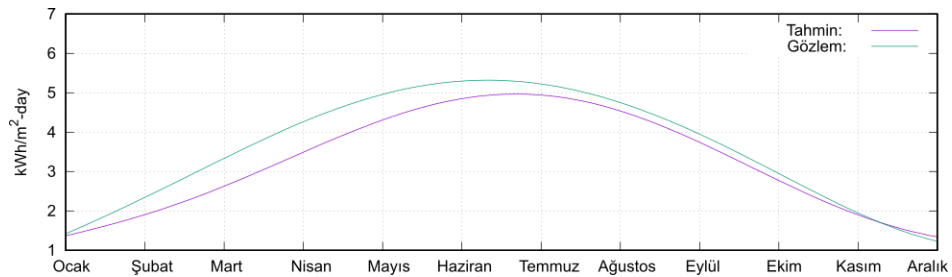
ile kısıtlı olmayıp, kabul edilebilir hata miktarı ile geniş ölçekli bölgelerde kullanılabilir.

Global güneş radyasyonu doğrudan, difüzyon ve yansıyan güneş radyasyonu içeriklerinden oluşur. Tercih ettiğimiz global güneş radyasyon modelinin tahmin doğruluğu kabul edilebilir seviyede olup, Delgado ve arkadaşları tarafından önerilen Angstrom katsayılarına sahip Angström-Prescott modelidir.

Modelin tahmin doğruluğunu irdelemek için Kastamonu, Sakarya, Adıyaman, Afyon, Diyarbakır ve İzmir illeri için test çalışması yapılmıştır. Bu iller için modelin ürettiği tahmin değerleri “yenilenebilir enerji genel müdürlüğü” tarafından ölçülen güneş ışığı ve global güneş radyasyonu verileri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.1.’de görüldüğü gibi kullanılan model, gerçek değerlerle yakın ve kabul edilebilir sonuçlar üretmektedir.

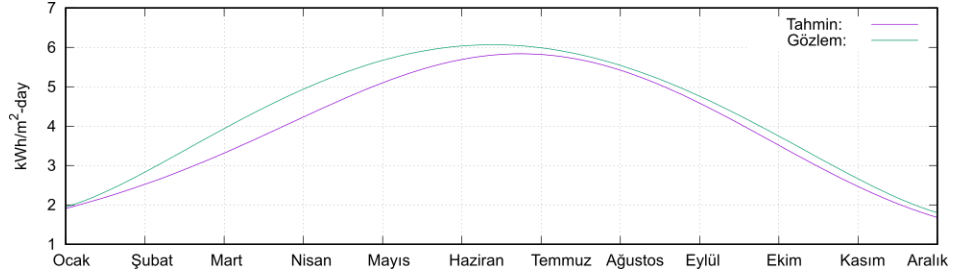


(a) Kastamonu ilinin tahmini toplam radyasyon değerlerinin ölçüm değerleriyle karşılaştırılması.

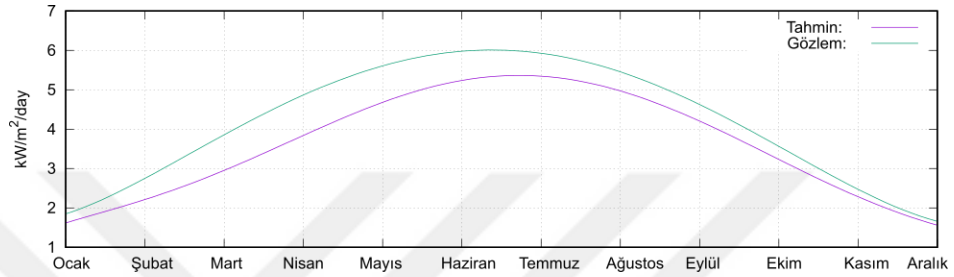


(b) Sakarya ilinin tahmini toplam radyasyon değerlerinin ölçüm değerleriyle karşılaştırılması.

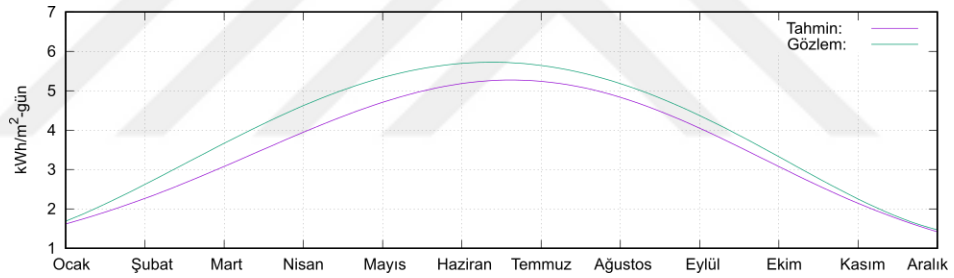
Şekil 4.1. Tahmini toplam radyasyon değerlerinin gerçek değerlerle karşılaştırılması.



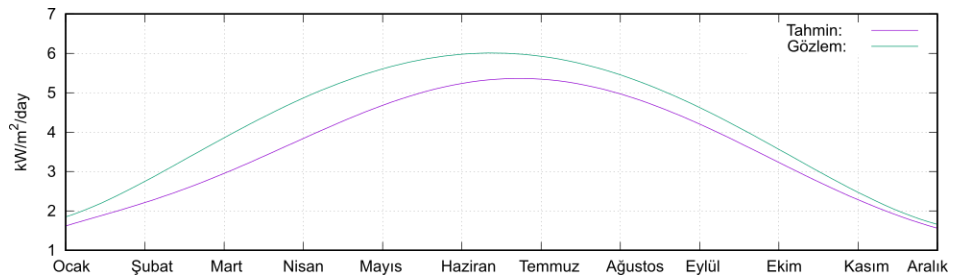
(c) Adıyaman ilinin tahmini toplam radyasyon değerlerinin ölçüm değerleriyle karşılaştırılması.



(d) Afyon ilinin tahmini toplam radyasyon değerlerinin ölçüm değerleriyle karşılaştırılması.



(e) Diyarbakır ilinin tahmini toplam radyasyon değerlerinin ölçüm değerleriyle karşılaştırılması.



(f) İzmir ilinin tahmini toplam radyasyon değerlerinin ölçüm değerleriyle karşılaştırılması.

Şekil 4.1. (Devamı)

Bu çalışma ile Angström-Prescott modelinin global güneş radyasyonu analizinde kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. Ancak, kentsel bir ortamda binaların

radyasyon analizi için bu model tek başına yeterli değildir. Çalışmada geliştirilen DSRM uygulaması, Angström-Prescott modelinin yanında başka algoritmalarda kullanılmaktadır.

4.2. Çalışma Alanı

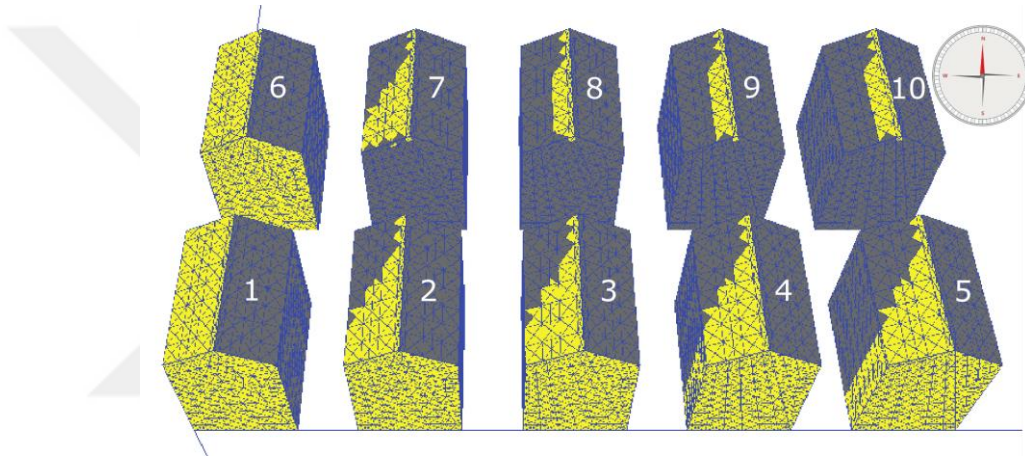
Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen DSRM ve GPU-DSRM uygulamalarının çalışma süresi performanslarını ve analiz sonuçlarını karşılaştırmada, GPU-DSRM uygulamasına ait deneysel çalışmalarda Sakarya ilinin yeni bir yerleşim beldesi olarak Yazlık beldesindeki bir site içerisindeki binalar çalışma alanı olarak seçilmiştir. Şekil 4.2.'de gösterilen dikdörtgen içerisindeki site alanı, genel bir site alanını temsil etmektedir. Modelin test edilmesi için oluşturulacak senaryolar, binalar arasındaki mesafeler, binaların birbirlerine karşı konumları bu site alanı örnek alınarak düzenlenmiştir. Site alanındaki binalar aynı yüksekliğe sahiptir ve site alanı 2 blok şeklinde tasarlanmıştır. Binalar arasındaki uzaklık yaklaşık 10 m., 2 blok arasındaki uzaklık ise yaklaşık 15 metredir.



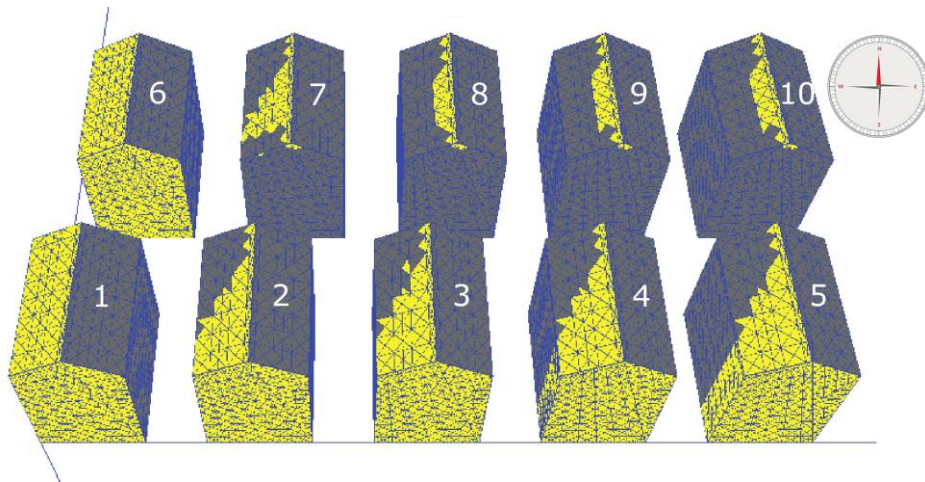
Şekil 4.2. Örnek alınan çalışma alanının harita üzerindeki yeri.

4.3. Senaryo Dosyaları

Şekil 4.2.'de gösterilen site alanı temel alınarak kentsel analiz için farklı senaryolar oluşturulmuştur. Bunun yanında, temel pasif parametreler değiştirilerek de farklı senaryolar oluşturulabilir ve bu pasif parametrelerin güneş radyasyonu üzerindeki etkileri incelenebilir. Önerilen yöntemle, oluşturulan senaryoların dışında farklı tasarıma sahip, farklı şekillerde konumlandırılmış binaların istenilen zaman aralıklarında ve hassasiyette radyasyon analizi yapılabilir. 4 farklı senaryo incelenmiştir.

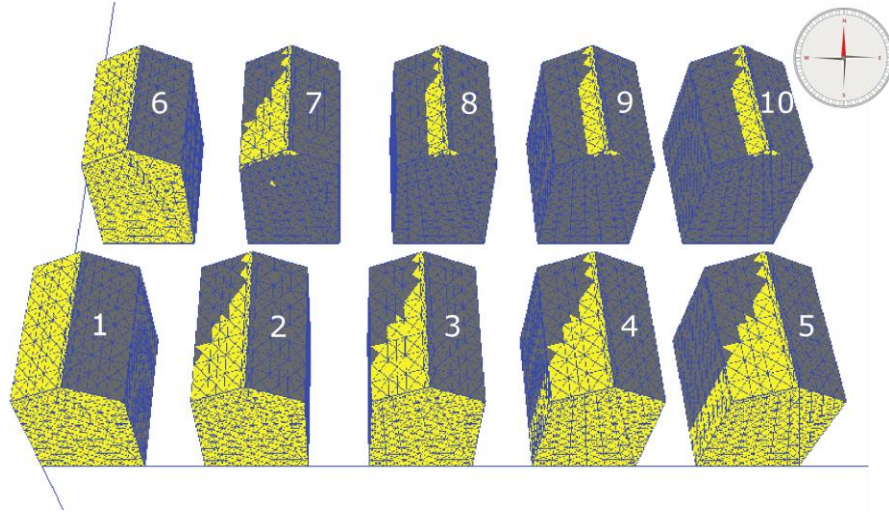


(a) Batı yönünde 10 m. kuzey yönde 15 m. mesafe ile hizalı kuzey-güney yönelimli bir site alanı.

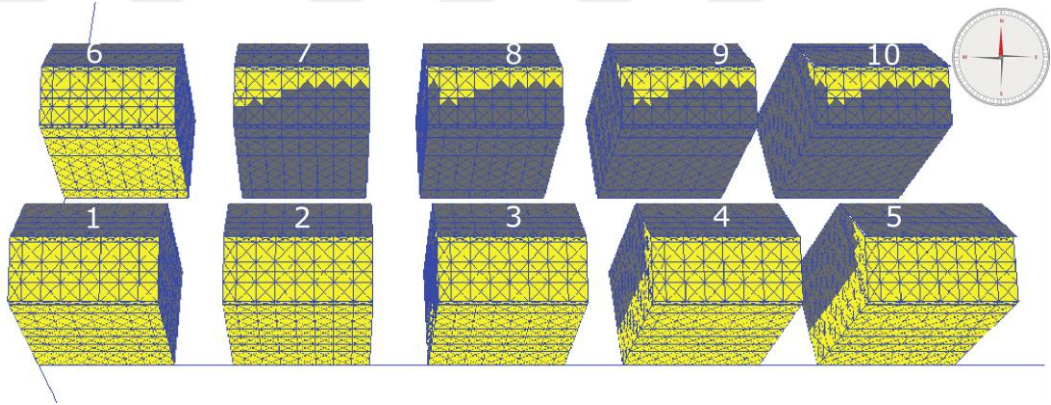


(b) Kuzey bloktaki binaların 5 m. doğu tarafına kaydırıldığı kuzey-güney yönelimli bir site alanı.

Şekil 4.3. Çeşitli bina yerleşim planları.



(c) Güney yönünde 20 m. mesafe ile kuzey-güney yönelimli bir site alanı.



(d) Batı yönünde 10 m., kuzey yönde 15 m. mesafe ile doğu-batı yönelimli bir site alanı.

Şekil 4.3. (Devamı)

Şekil 4.3.'de görsel olarak temsil edilen bina yerleşim senaryolarında her bir bina 1520 adet üçgen barındırır. Şekillerde 1 Ocak 2016 saat 16:30 için arka-yüz tespit algoritması çalıştırılmış olup, kesişim testlerinin her bir senaryo üzerindeki çıktıları sarı-gri renklerle görülmektedir. Sarı renkli olan üçgenler, doğrudan güneş ışığını alabilen üçgenlerdir. Gri üçgenler ise doğrudan güneş ışığı alamayan yüzeylerdir. Dolayısıyla, yüzeydeki bir üçgen ya ışın alır ya gölgededir ya da güneşe dönük olmayan bir yüzeydedir.

Bina yerleşim planı (a)'da binalar birbirlerinin hemen arkasında ve yanında konumlanmıştır. Binalar, doğu-batı yönünde birbirlerinden uzaklıkları 10 m. kuzey-güney yönünde uzaklıkları ise 15 metredir. Bütün binalar aynı boyutta olup, her bir bina 25 m. yüksekliğe, 17 m. genişliğe ve 23 m. derinliğe sahiptir.

Bina yerleşim planı (b), bina yerleşim planı (a)'nın sadece binalarının düzeninin değiştirilmiş halidir. 6,7,8,9 ve 10 numaralı binalar yatay ekseninde 5 m. doğu tarafına kaydırılmıştır. Binaların arka arkaya gelmesi engellenmiştir. Binaların birbirlerine göre olan doğu-batı ve kuzey-güney yönündeki uzaklıkları değiştirilmemiştir. Her bir bina 25 m. yüksekliğe, 17 m. genişliğe ve 23 m. derinliğe sahiptir.

Bina yerleşim planı (c), bina yerleşim planı (b)'nin kuzey-güney yönünde binaların birbirlerine olan uzaklıkları 20 metre yapılarak elde edilmiştir. Her bir bina 25 m. yüksekliğe, 17 m. genişliğe ve 23 m. derinliğe sahiptir.

Pasif parametrelerden biri olan cephe yönleri değişiminin analize olan etkisinin incelenebilmesi için bina yerleşim planı (d) oluşturulmuştur. Bina yerleşim planı (d), bina yerleşim planı (a)'nın doğuya doğru 90° döndürülmesiyle elde edilmiştir. Binaların doğu-batı ve kuzey-güney yönünde uzaklıkları bina yerleşim planı (a) 'nın değerleri ile aynı bırakılmıştır.

4.4. CPU-DSRM Uygulamasına ait Deneysel Çalışmalar

CPU-DSRM veya DSRM uygulaması binaların global güneş radyasyonu analizi için geliştirilen, farklı algoritmaları içerisinde barındıran yeni bir modeldir. CPU-DSRM uygulaması; arka-yüz tespit algoritması, ışın-üçgen kesişim testleri, sonlu elemanlar yöntemiyle üçgenleme işlemleri, eğimli ve yatay yüzeyler üzerindeki radyasyonun analizi için radyasyon modelleri içerir. Arka-yüz tespit algoritması, Möller Trumbore ışın-üçgen kesişim testi ve sonlu elemanlar Delaunay üçgenleme yöntemlerinin neden tercih edildiği Bölüm 3.1.'de anlatılmıştır. CPU-DSRM uygulamasının test çalışmalarında Intel-Xeon 2.4 GHz 16 çekirdekli işlemciye sahip, 8 GB anabelleği olan bir sunucu bilgisayar kullanılmıştır.

Öncelikle ışın-üçgen kesişim testi algoritmasının uygulamada doğru çalıştığına dair testler yapılmıştır. Bu algoritmanın verdiği cevaplara göre radyasyon tahminleri yapılmaktadır. Işın-üçgen kesişim testi için SketchUp programı kullanılarak farklı ışın-üçgen senaryoları oluşturulmuştur. DSRM Uygulamasının içinde kullanılan Möller-Trumbore algoritması senaryo bilgileri kullanılarak doğrulanmıştır. Örnek olması adına 1 Ocak 2016 saat 16:30 için Möller-Trumbore algoritmasının her bir senaryo üzerindeki çıktıları Şekil 4.3.'de verilmektedir.

DSRM uygulamasında ışın-üçgen kesişim testinin verdiği cevaplara göre radyasyon hesaplamaları gerçekleştirilmektedir. Radyasyon hesaplamaları yatay ve eğimli yüzeylere ve global radyasyonun farklı içerikleriklerine göre değişir. Bu tahmin modelleri, global güneş radyasyonu modelini temel alır. Tahmin modellerinin hesabı için global güneş radyasyonu modeli ile birlikte dünya-dışı radyasyon değeri, enlem, boylam, maksimum gün ışığı süresi, atmosferin geçirgenliği, yüzeyin eğimi gibi parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler analiz edilecek konuma ait bilgilerdir ve elde edilebilirdir.

Farklı bina yerleşim planları ile 4 farklı senaryo oluşturuldu. Her senaryo için 1 saatlik örnekleme zaman aralığı ve 1520 üçgen sayısı parametreleri ile Sakarya iline ait (enlem: 40.76, boylam: 30.3738) binalar üzerinde 1 yıl boyunca global güneş radyasyonu, doğrudan ve difüzyon radyasyon analizleri yüzey, bina ve site bazında yapıldı. Analiz sonuçları veritabanına kaydedildi. Veritabanı bilgileri filtrelenerek, her senaryoya ait ortalama global güneş radyasyonu değerleri heatmap ile gösterildi.

4 farklı senaryonun radyasyon analizleri ile bina yerleşim planlarının farklılıklarının güneş radyasyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bina cephelerinin baktığı yön, binalar arasındaki uzaklık gibi pasif parametrelerin güneş radyasyonu üzerindeki etkileri görülmüştür.

DSRM uygulamasının çalışma süresinin analizi için 31 gün boyunca üçgen sayısı (1910, 3754 ve 5694) ve örnekleme zaman aralığı (30,60,90, 120 dk) parametrelerinin çalışma sürelerine olan etkileri sırasıyla incelenmiştir. İncelemede ele alınan her üçgen sayısı-örnekleme zaman aralığı bileşimi için uygulama 30 kez çalıştırılmıştır ve ortalama değerlere bakılmıştır.

4.5. GPU-DSRM Uygulamasına ait Deneysel Çalışmalar

GPU-DSRM uygulaması, CPU-DSRM uygulamasının icra süresinin azaltılması için geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda çalışma alanı olarak Şekil 4.1.a.'da verilen senaryo kullanılmıştır. GPU-DSRM uygulamasının geliştirilmesi ve deneysel çalışmalar Tablo 4.1.'de özellikleri verilen bir bilgisayar kullanılarak yapılmıştır.

GPU-DSRM uygulaması geliştirilmeden önce CPU-DSRM uygulamasına ait algoritmalar çalışma süreleri bakımından ön incelemeye tabi tutuldu ve uzun çalışma süreli rutinler belirlendi. Bu rutinler programlama dilinin desteklediği ölçüde CPU içinde iş parçacıkları (thread'ler) kullanılarak paralelleştirildi ve yazılımda bazı sadeleştirmeler yapıldı. Tüm bu iyileştirmeler icra süresini önemli ölçüde kısaltmasına rağmen nihai hedef için yeterli olmamıştır.

Çalışma süresini daha da kısaltmak için GPU kartlarındaki işlem gücünden faydalanılmaya karar verildi. CPU platformlarında çalışabilecek şekilde tasarlanan DSRM, GPU platformları üzerinde çalışabilecek şekilde tekrar modellendi. Kısa çalışma sürelerine sahip rutinler CPU platformuna, uzun çalışma sürelerine sahip rutinler paralelleştirilerek GPU platformuna taşınmıştır.

GPU ve CPU platformları arasındaki veri alışverişinin en az düzeyde tutulması performans açısından önemlidir. CPU platformlarında çalıştırılacak olan işlemlerin sonuçları, GPU platformlarında çalıştırılacak olan işlemlerin girdileri olabilir. Bellek erişim sayısı, ihtiyaç duyulan bellek miktarı ve çalışma süresi dengeli bir şekilde en az

düzeyde olmalıdır. Bu nedenle CPU platformlarında çalıştırılacak işlemlerin seçimi önemlidir. DSRM algoritmasının işlem adımlarının sırası GPU platformundan daha fazla yararlanabilmek için değiştirilmiştir.

Paralellikten dolayı ve GPU'nun kayan nokta yuvarlaması sebebiyle oluşabilecek hataları tespit edebilmek için GPU-DSRM uygulaması ile CPU-DSRM uygulamalarının çalışma alanı üzerindeki sonuçları karşılaştırıldı. Bu hedef doğrultusunda farklı örnekleme zaman aralığı, üçgen sayısı ve farklı konum, zaman dilimleri ile farklı senaryolar oluşturuldu ve bu senaryolar üzerinde GPU-DSRM ve CPU-DSRM uygulamalarının analiz sonuçları karşılaştırıldı. GPU-DSRM uygulaması ile CPU-DSRM uygulamalarının aynı sonuçları verdiği gözlemlenmiştir.

Tablo 4.1. Test aşaması boyunca kullanılan test bilgisayarının donanım ve yazılım içerikleri.

Donanım Birimleri	Özellikler
CPU	Quad Core Intel Core i7-7700HQ
Ana bellek	16 GB RAM, 2400 MHz bandgenişliği
İşletim sistemi	Windows 10
GPU kartı	Nvidia GeForce GTX 950M, 640 core Maxwell architecture, Compute Capability 5.0
Platform	CUDA, Version 9.1

GPU-DSRM uygulamasının çalışması doğrulandıktan sonra uygulamanın çalışma süresi analiz edilmiştir. Örnekleme zaman aralığı ve üçgen sayısı analizin doğruluğunu ve hassasiyetini etkileyen, aynı zamanda çalışma süresini etkileyen parametrelerdir. Problemin boyutu artarken (üçgen sayısı, analiz zaman aralığı) iş parçacığı sayısı da donanımın limitlerine ulaşıncaya kadar artmaktadır. İş parçacığı sayısının çok artması, çalışma süresi üzerinde olumsuz bir etkiye neden olabilir. Bu yüzden uygulamanın gereksinimlerini karşılayacak ve GPU'nun yeteneklerinden en verimli şekilde faydalanabilecek şekilde optimum sayıda iş parçacığı kullanmak gerekir.

Uygulamaya göre blok ve iş parçacıklarının sayısı değişiklik gösterir. CUDA üzerinde geliştirilen uygulama için uygun olan iş parçacığı ve blok sayıları deneyimler sonucunda elde edilir, en optimum performans için GPU'nun tüm bloklarının kullanımda olması gerekir. Bu hedef doğrultusunda farklı sayıda blok, blok içerisinde farklı sayıda iş parçacığı birleşimleri ile denemeler gerçekleştirildi. Yapılan denemeler sonucunda toplam iş parçacığı sayısı sabit tutulduğunda GPU'da ki farklı blok-iş parçacığı birleşimlerinin çalışma süresini değiştirmedeği görüldü. Bu nedenle bu çalışmada öncelikli olarak iş parçacıklarının toplam sayısına odaklanılmıştır ve 4096 olarak alınmıştır. Sonra blok başına düşen iş parçacığı sayısı 128 olarak alınmıştır.

Üçgen sayısı ve örnekleme zaman aralığı parametreleri değiştirilerek, bu parametrelerin çalışma süresi üzerindeki etkilerini görebilmek adına başka deneylerde yapılmıştır. Öncelikle CPU platformu ve GPU platformu kullanıldığında üçgen sayısı (1910, 3754 ve 5694) ve örnekleme zaman aralığı (30,60,90, 120 dk) parametrelerinin DSRM uygulamasının çalışma süresi üzerindeki etkileri incelenmiştir. İncelemede ele alınan her üçgen sayısı-örnekleme zaman aralığı bileşimi için uygulama 30 kez çalıştırılmış ve ortalama değerlere bakılmıştır.

31 gün boyunca 1 saatlik örnekleme zaman aralığı ve 1910,3754 ve 5694 üçgen sayıları ile GPU-DSRM uygulamasının çalışma süresi ve hızlanma değeri incelenmiştir. Üçgen sayısı sabit 9024 adet olacak şekilde (2.71 m^2 'lik yüzey alanına sahip üçgenler) örnekleme zaman aralığının GPU-DSRM uygulamasının çalışma süresine olan etkisi, sabit 30 dk.'lık örnekleme zaman aralığında üçgen sayılarının GPU-DSRM uygulamasının çalışma süresine olan etkisi incelenmiştir.

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çalışmanın ilk safhasında geliştirilen CPU temelli güneş radyasyonu uygulaması, daha kısa sürede sonuç almak için GPU platformları için yeniden tasarlanıp geliştirilmiştir. Bölüm 5.1’de CPU-DSRM uygulaması kullanılarak elde edilen analiz sonuçları ayrıntılı bir şekilde verilmekte ve yorumlanmaktadır. GPU-DSRM uygulaması ile yapılan deneysel çalışmalar ise Bölüm 5.2 ve Bölüm 5.3’te karşılaştırılmalı olarak sunulmuş ve sonuçlar açıklanmıştır.

5.1. CPU-DSRM Uygulaması ile Elde Edilen Deney Sonuçları

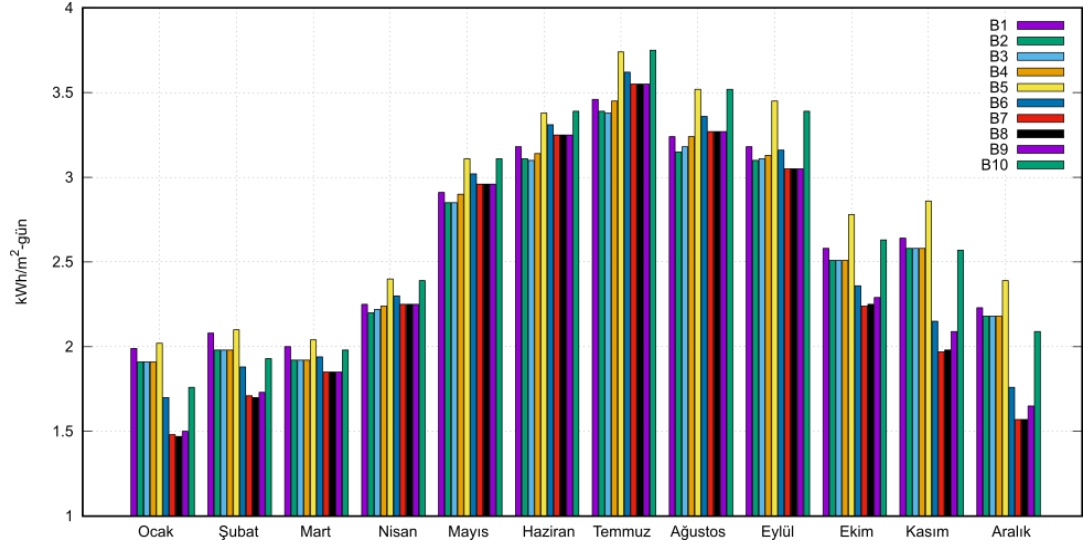
CPU-DSRM uygulamasının analiz doğruluğunu test etmek için 4 farklı senaryo dosyası hazırlanmıştır. Senaryoların her biri güneşin hareketinden dolayı gün içerisinde farklı bir gün ışığı alım davranışı sergiler. Sakarya ilinde 1 Ocak 2016, saat 16:30’da güneş batı yönündedir ve batmak üzeredir. Kış aylarında güneşin alçakta ve doğudan batıya güney doğrultusunda hareket etmesi, binaların güney ve batı cephelerinin güneş almasını sağlayacaktır. Şekil 4.3’de bulunan yerleşim planları incelendiğinde bu durum açıkça görülmektedir. Binaların doğu-batı yönünde kaydırılması arka tarafta kalan binaların (6,7,8,9,10) daha fazla güneş ışığı almasını sağlayacaktır. Binaların doğu-batı ve kuzey-güney yönde uzaklıklarının arttırılması her bir binanın diğer binalar üzerindeki gölge etkilerini azaltarak, tüm binaların daha fazla güneş ışığı almasını sağlayacaktır.

Senaryolarda verilen bina yerleşim planları, tüm bir yıl boyunca örnekleme aralığı 1 saat, üçgen sayısı 1520 olacak şekilde analize tabi tutulmuştur. Buna göre, 1 yıl içindeki ortalama güneş radyasyonu değerleri Şekil 5.1.’de verilmiştir. Şekil 5.1.’de ki grafik bina bazında incelendiğinde doğu yönünde bulunan 5 ve 10 numaralı binalar ile

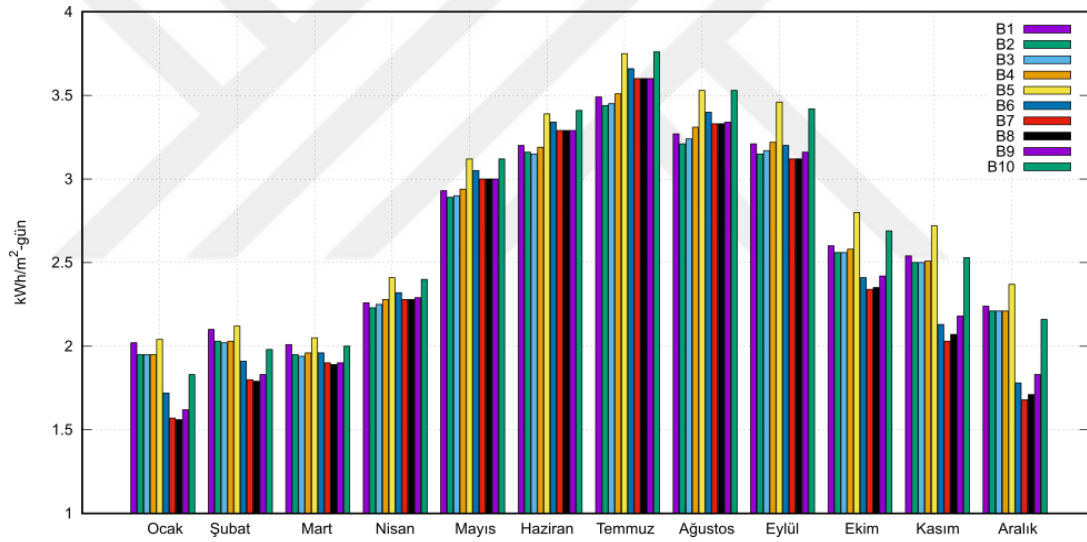
batı yönünde bulunan 1 numaralı binanın güneş radyasyonu verimliliğinin diğer binalara nazaran daha fazla olduğu görülmektedir. Bu binaların etrafında engelleyicilerin diğer binalara nazaran daha az olması ve gün-doğumu, gün-batımında binaların doğu ve batı yönlerinden doğrudan güneş ışığını alabilmelerinden kaynaklanır. 5 numaralı binanın, tüm analizlerde daha fazla güneş enerjisinden faydalandığı görülmektedir.

Kış ve sonbahar aylarında Sakarya ili için güney cephelerinin daha fazla doğrudan güneş radyasyonuna maruz kaldığı; yaz ve ilkbahar aylarında (Nisan-Ağustos) ise güney cephelerinde radyasyon etkisinin azaldığı görülmektedir. Yaz ve ilkbahar aylarında güneş radyasyonu batı ve doğu cephelerinde etkisini arttırmaktadır. Yerleşim planlarının analiz sonuçları incelendiğinde yıl içerisinde doğu cephesinin batı cephesine nazaran daha fazla güneş verimliliğine sahip olduğu görülmektedir. Bu davranışların bir sonucu olarak yıl boyunca radyasyon verimliliği bakımından 5 numaralı binayı batı cephesinde bulunan 1 ve doğu cephesinde bulunan 10 numaralı binalar takip etmektedir.

Sonbahar ve kış aylarında güneş irtifasının düşük olması ve güneş ışığının eğimli olması 10 numaralı binanın daha fazla gölgede kalmasına sebep olmuştur. Yaz ve ilkbahar aylarında ise güneş irtifağının yüksek olması nedeniyle 10 numaralı bina daha az gölgeye maruz kalır. Kışın güney cephelerinin daha fazla güneş ışıınıması alması ve yazın yıl içerisinde en düşük güneş ışıınıması değerine sahip olması 10 numaralı binanın güney cephesindeki engelleyici dezavantajını azaltmaktadır (Bkz. Şekil 5.1.).

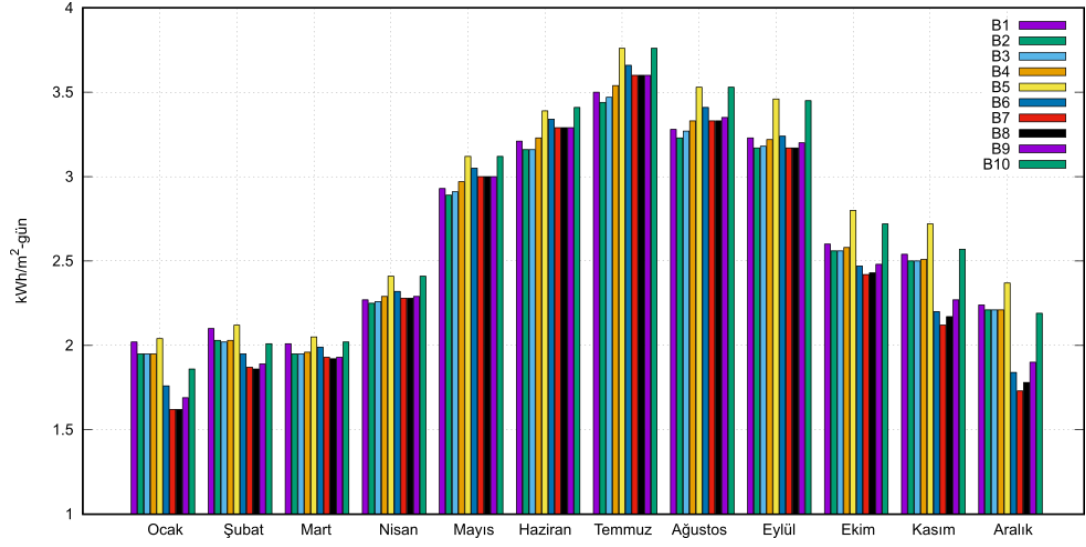


(a) Yerleşim planı (a)'nın yıllık güneş radyasyonu analizi.

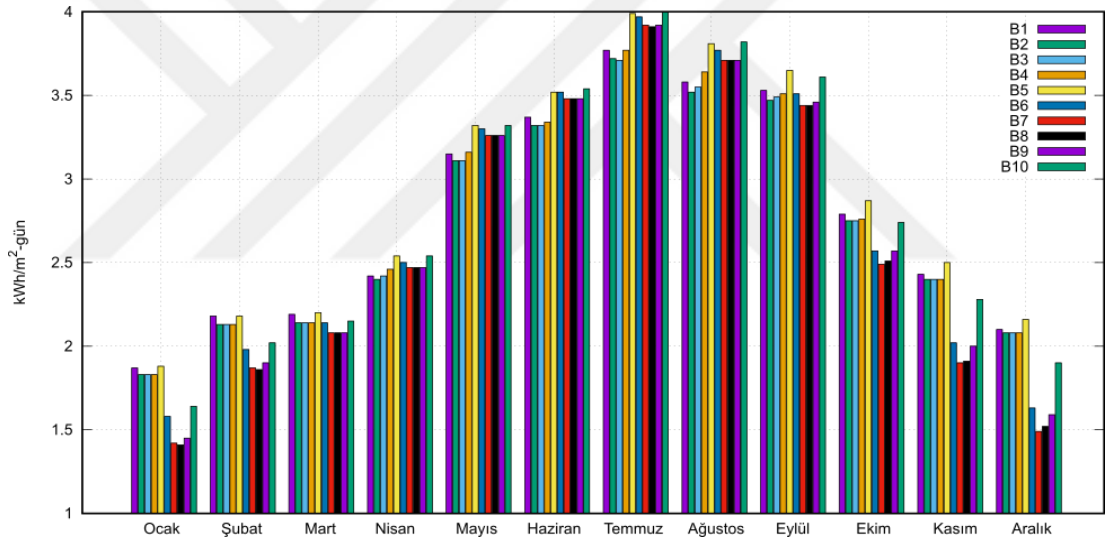


(b) Yerleşim planı (b)'nin yıllık güneş radyasyonu analizi.

Şekil 5.1. Farklı bina yerleşim planlarını temel alan yıllık güneş radyasyonu analizi.



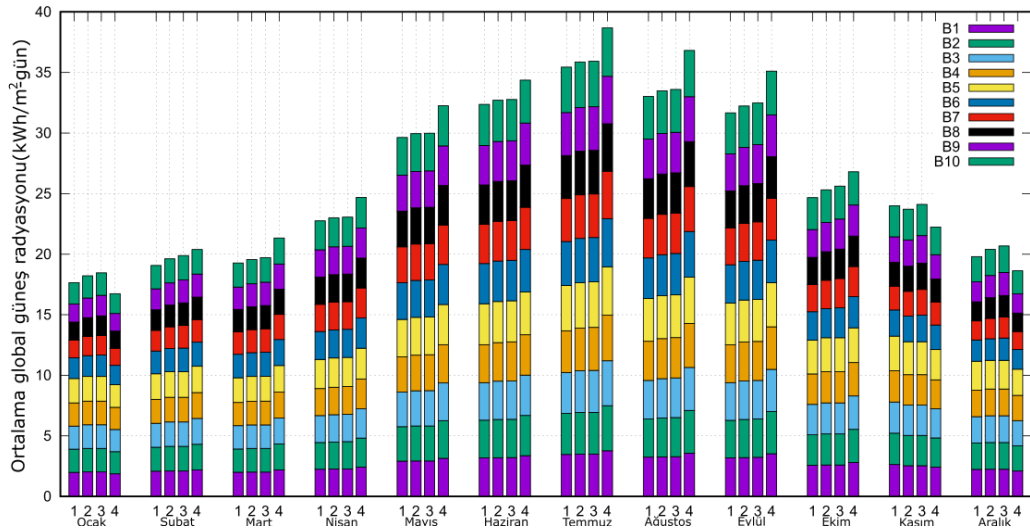
c) Yerleşim planı (c)'nin yıllık güneş radyasyonu analizi.



d) Yerleşim planı (d)'nin yıllık güneş radyasyonu analizi.

Şekil 5.1. (Devamı)

Yerleşim planlarına göre de binaların yıl içerisindeki radyasyon alım miktarları değişiklik göstermektedir. Örneğin yatay ve dikey yönde binaların birbirlerine göre uzaklıklarının ve cephe yönlerindeki değişimlerin radyasyon alımı üzerindeki etkilerini görebilmek için yerleşim planı (a), diğer tüm planlarla karşılatırılmıştır (Bkz. Şekil 5.2.).



Şekil 5.2. Yerleşim planlarının radyasyon alım miktarlarına etkisinin karşılaştırılması.

Bütün yerleşim planlarında kış aylarından yaz aylarına doğru giderken ortalama global güneş radyasyonu değerinde artış olmuştur. Genel davranış incelendiğinde ise yerleşim planı (d)'nin en iyi güneş verimliliği performansı gösterdiğini söyleyebiliriz. 2. Bloktaki binaların doğu yönünde kaydırılması ve kuzey-güney yönünde binalar arasındaki mesafenin artırılması, binaların güneş radyasyonu değerini arttırmıştır.

Yerleşim planı (1) ve yerleşim planı (2)'nin yıl boyuncaki ortalama global güneş radyasyonu karşılaştırılması Şekil 5.2.'de verilmektedir. Yerleşim planı (2), yıl boyunca daha iyi bir güneş potansiyeli verimliliği göstermektedir. Her iki plan için de, kıştan yaz doğru ortalama global güneş radyasyonu değeri artmaktadır. Planlar arasındaki performans farkı yaz aylarına doğru azalım göstermektedir. Binaların 5 m. doğu yönünde kaydırılması arka yönde bulunan binaların doğu, güney ve batı cephelerindeki doğrudan güneş alma alanlarını arttırdığından her bir binanın doğrudan güneş ışığından faydalanma verimliliğini arttırmaktadır.

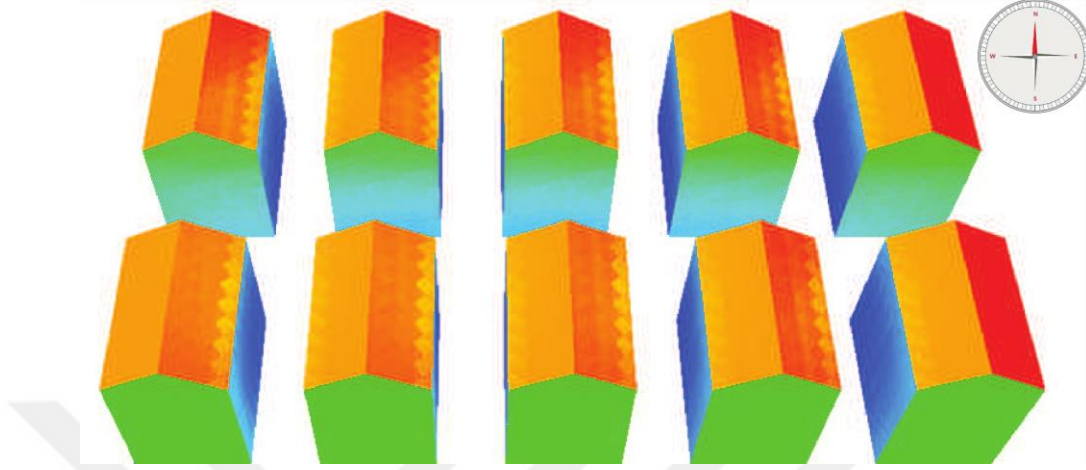
Yerleşim planı (1) ve yerleşim planı (3)'ün yıl boyuncaki ortalama global güneş radyasyonu karşılaştırılması da Şekil 5.2.'den görülebilir. Burada yerleşim planı (3)'ün, yıl boyunca daha iyi bir güneş potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Binaların doğu yönünde kaydırılması ve kuzey-güney yönünde binalar arasındaki

mesafenin arttırılması güneş radyasyon değerinin artışı sağlamıştır. Genel davranışa bakıldığında her iki senaryo arasında büyük farklılıkların olmadığı gözlemlenmektedir. Binaların yüksek olması yanında binalar arasındaki mesafenin değiştirilememesi gölgeleme etkilerini incelemeye engel olmaktadır. Binalar arasındaki mesafenin daha da arttırılması veya bina uzunluğunun azaltılması bu farklılıkları daha belirgin kılacaktır. Yönetmeliklerde, binalar arasındaki mesafenin belirlenmesinde binaların uzunlukları temel alınır. Binalar arasındaki mesafe ve bina yükseklikleri dikkate alınmadan yapılan bir yerleşim düzeninde istenilen güneş enerjisi performansı alınamamaktadır.

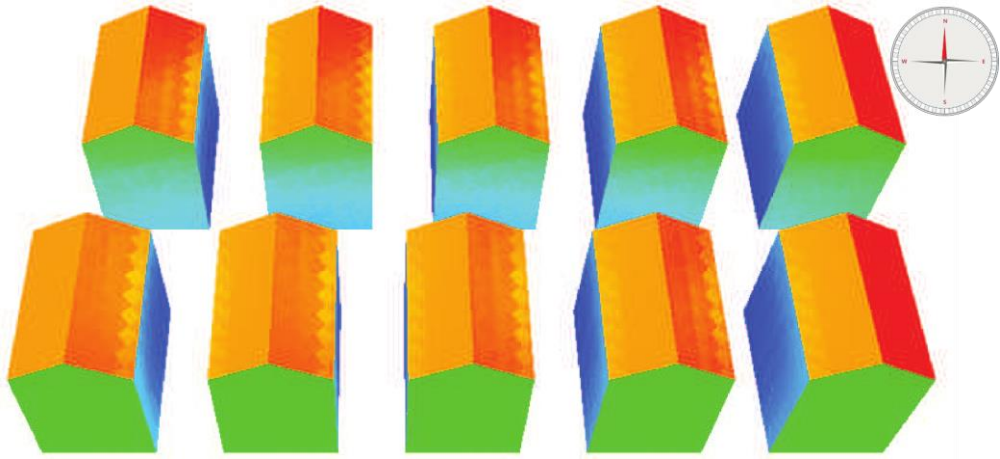
Planların genel davranışlarına bakıldığında yerleşim planı (4)'ün yıl boyunca daha iyi bir performansa sahip olduğu görülmektedir. Kasım, aralık ve ocak aylarında yerleşim planı (1) daha iyi bir performansa sahiptir. Kış aylarında güneşin irtifası düşüktür. Bu nedenle kuzeyde yer alan binaların (2. blok) üzerine düşen gölge alanları artar. Yerleşim planı (1)'de, binaların geniş cepheleri doğu ve batı yönlerinde konumlandırıldığından kış aylarında kuzeyde bulunan binalar (2. blok) güneyde bulunan binaların (1. blok) gölgesinden daha az etkilenecek daha fazla güneş radyasyonuna maruz kalır. Kış aylarında, yerleşim planı (4)'de geniş yüzeylere düşen gölge miktarı artacağından doğu ve batı cephelerindeki dar yüzeylere düşen güneş radyasyonu miktarı plan (1)'e göre daha az olacaktır. Bu durum, plan (1)'in kış ayları için, plan (4)'ün de kış ayları dışındaki aylar için daha uygun bir yerleşim planı olabileceğini göstermektedir. Genel toplama bakıldığında plan (4)'ün güneş enerjisinden faydalanma verimliliğinin diğer planlara nazaran ciddi bir pozitif fark oluşturduğu görülmektedir.

Yerleşim planları ve her bir plana ait, binaların yıllık ortalama güneş radyasyonu dağılımlarının 3B benzetiminin sonuçları Şekil 5.3.'de verilmektedir. Şekil 5.3. radyasyon dağılımını görebilmek için ortalama güneş radyasyonu değeri kullanılmıştır. Beklenildiği gibi, bina çatılarının radyasyon seviyesi, bina cepheleriyle karşılaştırıldığında daha yüksektir. Önerilen yöntem temel alınarak, her bir yerleşim planı için yıllık ortalama global güneş radyasyonu değerleri plan1 için 2.58 kWh/m²-yıl, plan2 için 2.62 kWh/m²-yıl, plan3 için 2.64 kWh/m²-yıl, plan4 için 2.73 kWh/m²-

yıl olarak tahmin edilmiştir. Sonuç olarak plan 4 yıl boyunca daha iyi bir performans göstermiştir.

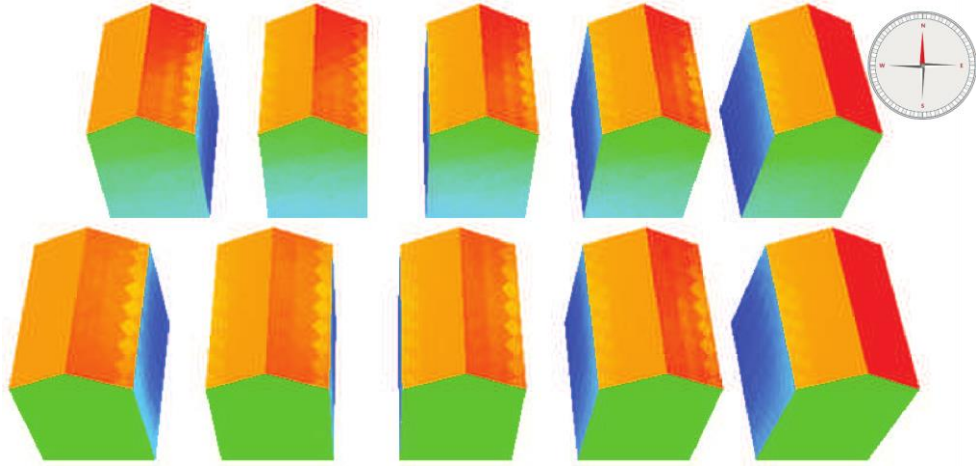


a) Yerleşim planı (1) için yıllık ortalama global güneş radyasyonu çıktısı.

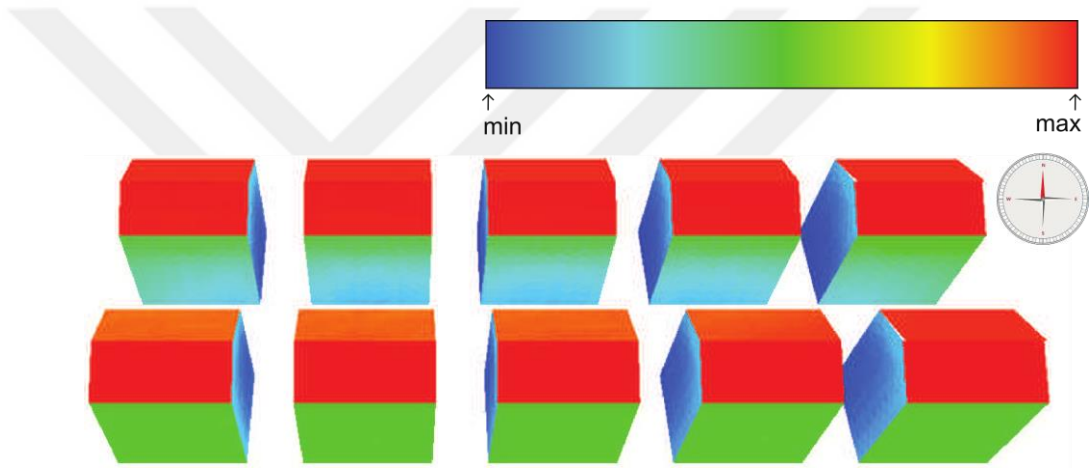


b) Yerleşim planı (2) için yıllık ortalama global güneş radyasyonu çıktısı.

Şekil 5.3. Farklı bina yerleşim planlarının yıllık güneş enerjisi potansiyelinin görselleştirilmesi.



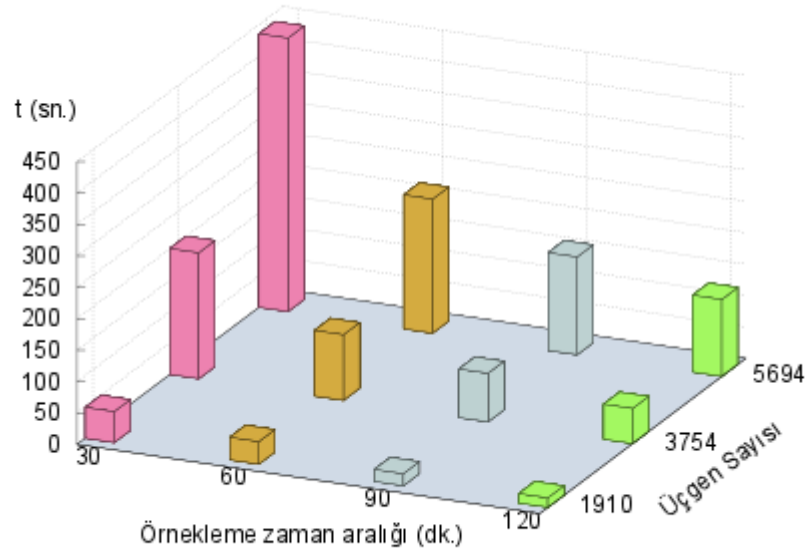
c) Yerleşim planı (3) için yıllık ortalama global güneş radyasyonu çıktısı.



d) Yerleşim planı (4) için yıllık ortalama global güneş radyasyonu çıktısı.

Şekil 5.3. (Devamı)

CPU platformu ile yapılan hesaplamalarda üçgen sayısı ve örnekleme zaman aralığı parametrelerinin çalışma süresine olan etkileri Şekil 5.4.'de verilmiştir. Her üçgen sayısı-örnekleme zaman aralığı ikilisi için uygulamanın 31 günlük hesabı 30 kez çalıştırılmış ve ortalama değerler grafiğe aktarılmıştır. Üçgen sayısının artması ve örnekleme zaman aralığının azalması çalışma süresini doğrusal bir şekilde arttırmaktadır.



Şekil 5.4. Üçgen sayısı ve örnekleme zaman aralığı bazında CPU-DSRM modelinin çalışma süresi.

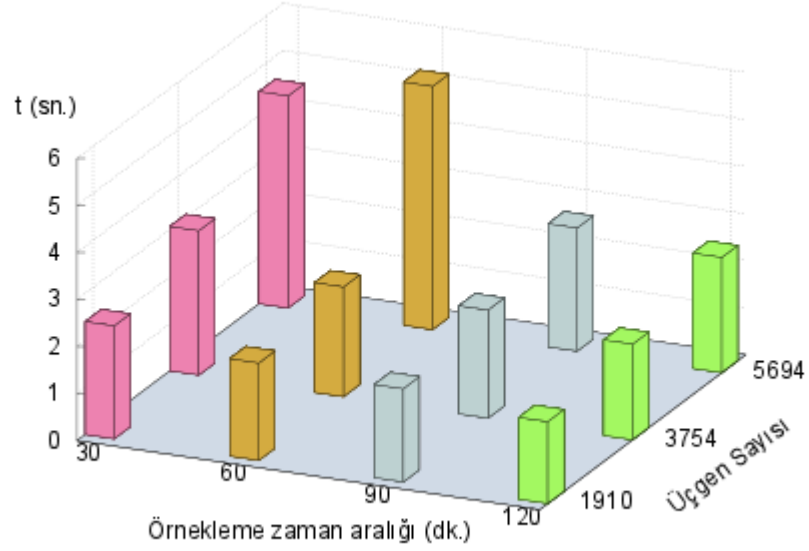
5.2. GPU-DSRM Uygulaması ile Elde Edilen Deney Sonuçları

GPU-DSRM uygulamasına ait deneysel çalışmalar Şekil 4.3.a.'da verilen plan kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.3.a'da verilen senaryo 2453.64 m² 'lik yüzey alanına sahip 10 binadan oluşmaktadır. Bu senaryo temel alınarak 30 dk. örnekleme zaman aralığı ölçeğinde, ışın-üçgen kesişim algoritmasının CPU-DSRM uygulamasının çalışma süresinin yaklaşık 99%'undan sorumlu olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, ışın-üçgen kesişim algoritmasının iyileştirilmesi, yani hızlandırılması DSRM uygulamasının çalışma süresini büyük ölçüde etkileyecektir.

GPU-DSRM 'in iyileştirilmesinde her bir iş parçacığına birden fazla üçgenin atanması düşünülmüştür. Fakat bu şekilde ortalama bekleme süresinde ve iş parçacıklarının düzensizliklerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.18.'de verilen algoritma donanımsal olarak ölçeklenebilir ve iş parçacıklarının bekleme süreleri en aza indirilir.

GPU platformu üzerinde geliştirilen uygulama çalıştırıldığında üçgen sayısı ve örnekleme zaman aralığı parametrelerinin çalışma süresine olan etkileri Şekil 5.5.'de

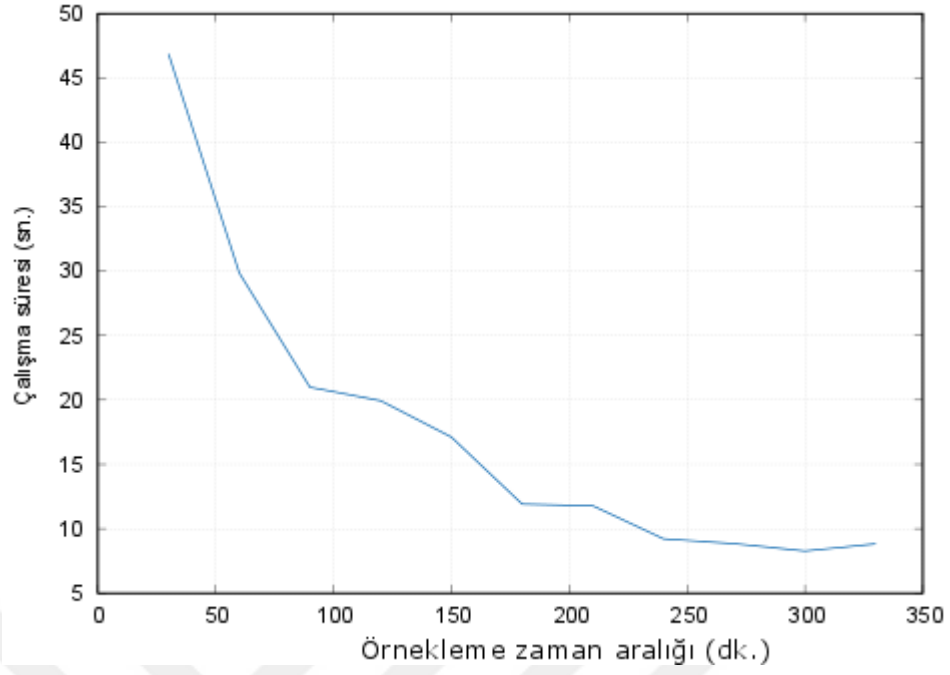
verilmektedir. Her üçgen sayısı-örnekleme zaman aralığı ikilisi için uygulamanın 31 günlük hesabı 30 kez çalıştırılmış ve ortalama değerler grafikte gösterilmiştir.



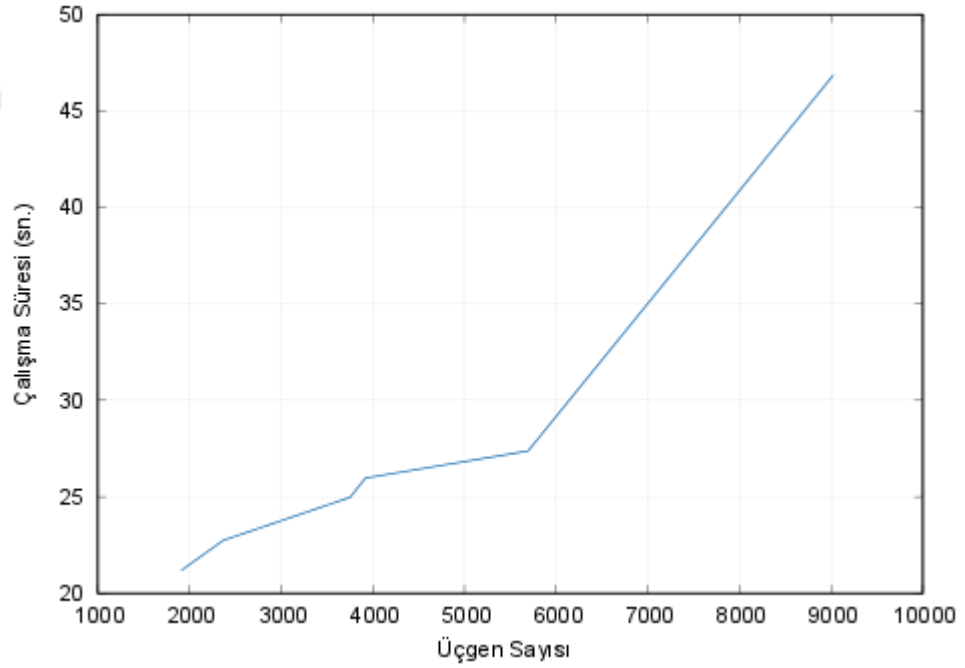
Şekil 5.5. Üçgen sayısı ve örnekleme zaman aralığı bazında GPU-DSRM modelinin çalışma süresi

Şekil 5.5.'de görüldüğü gibi üçgen sayısının artması ve örnekleme zaman aralığının azalması çalışma süresini arttırmaktadır. Ancak, CPU temelli uygulamaya nazaran bu iki parametrenin çalışma süresine olan etkileri daha azdır.

Örnekleme zaman aralığı sabit tutularak üçgen sayısının çalışma süresini nasıl etkilediğini görebilmek için başka deneyler de yapılmıştır. Aynı şekilde, üçgen sayısı sabit tutularak örnekleme zaman aralığının çalışma süresini nasıl etkilediğine dair deneyler de yapılmış ve sonuçlar Şekil 5.6. ve Şekil 5.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Örnekleme zaman aralığının çalışma süresine olan etkisi.



Şekil 5.7. Üçgen sayısının çalışma süresine olan etkisi.

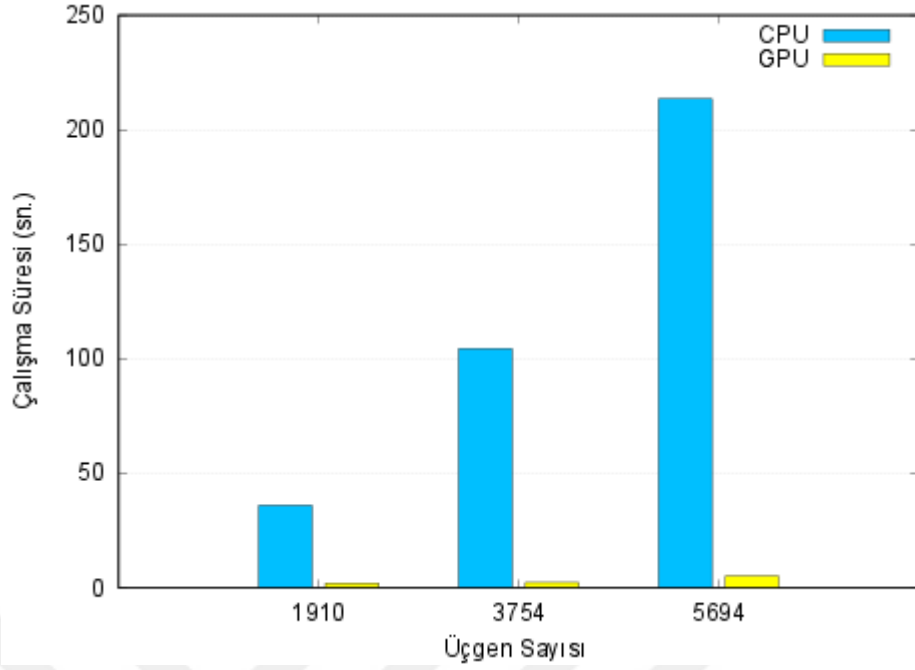
30 dk.'lık örnekleme aralığı ve 2.71 m²'lik bir yüzey alanına sahip üçgenlerle (toplamda 9024 adet üçgen) yapılan bir yıllık analiz çalışması 46.86 sn. sürmektedir (Bkz. Şekil 5.7.). Üçgenlerin yüzey alanları 4.3 m² olacak şekilde arttırıldığında ise

(5694 adet üçgen demektir.) çalışma süresi 27.38 saniyeye düşmektedir. Benzer şekilde yüzey alanları 12.84, 10.35, 6.53 ve 6.26 m² olarak alındığında (sırasıyla 1919, 2370, 3754 ve 3920 adet üçgen) çalışma süresinin doğrusal bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.

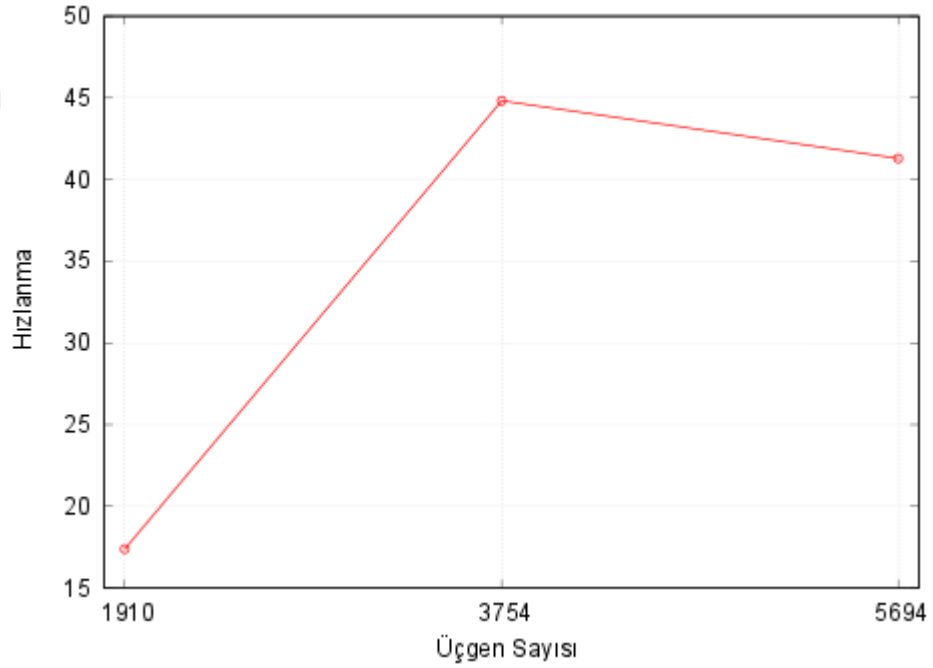
Doğruluk ve çalışma süresini etkileyen bir başka parametre örnekleme zamanıdır. Örnekleme zaman aralığı veya periyodu, güneş pozisyonunun değişimi düşünülerek hesaplamaların hangi sıklıkta yapılmasını gerektiği bilgisini verir. Örnekleme aralığının çalışma süresine olan etkisini görebilmek için, başlangıçta 2.71 m²'lik bir alana sahip üçgenlerle örnekleme aralığı 30 dk. olarak alınmıştır. Bu verilerle bütün yılın radyasyon analizi ortalama 46.863 sn. sürmüştür (Bkz. Şekil 5.6). Örnekleme aralığı artarken çalışma süresinin azaldığı açıktır ve örnekleme aralığının belirli bir noktaya kadar artmasından sonra çalışma süresinde çok fazla azalmanın olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni GPU kartının donanımsal kısıtlarıdır.

5.3. GPU-DSRM ve CPU-DSRM Uygulamalarının Karşılaştırılması

CPU-DSRM ve GPU-DSRM uygulamalarının performanslarının karşılaştırılması için Şekil 4.3.a.'da verilen senaryo kullanılmıştır. Şekil 5.8'de CPU-DSRM ve GPU-DSRM modelleri arasındaki çalışma süresi karşılaştırılması verilmektedir. Grafik 31 gün boyunca 1 saatlik örnekleme zaman aralığı ve 1910, 3754 ve 5694 üçgen sayısı ile elde edilmiştir. Şekil 5.9.'da görüldüğü gibi GPU üzerinde gerçekleştirilen uygulama önemli bir performans artışı sağlamıştır ve 41.29 kat hızlanma ile çalışma süresi 213.46 sn.'den 5.13 sn.'e düşmüştür. Şekil 5.9'da öncelikle hızlanma değerinin üçgen sayısının artmasıyla birlikte doğrusal bir artış gösterdiği, grafiğin diğer kısmında ise GPU kartının donanım sınırlarına ulaşıldığı için hızlanma değerinin neredeyse sabit hale geldiği görülmektedir.



Şekil 5.8. DSRM algoritmasının CPU ve GPU platformlarındaki çalışma sürelerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.9. GPU-DSRM modeli ile elde edilen hızlanma.

CPU üzerinde koşan DSRM modelinin ilk sürümü ile yapılan analiz çalışması yaklaşık 11 saat sürmekteydi. Disk erişimlerinin en aza indirilmesi ve diğer yazılımsal iyileştirmeler ile çalışma süresi yaklaşık 6 saatte kadar indirilmiştir. Bu, başarılı bir

iyileştirme olmakla beraber, hala interaktif çalışması hedeflenen bir analiz yazılımı için kabul edilebilir bir süre değildir. Çalışmanın ikinci safhasında geliştirilen GPU temelli uygulamada ise aynı iş yaklaşık 47 saniyede yapılabilmektedir. Kısaca iki platform arasındaki performans farkını şu şekilde özetleyebiliriz: GPU temelli yeni uygulama, CPU temelli ilk versiyona göre 842 kat daha hızlıdır. Bu hızlanma miktarı çok daha fazla çekirdek sayısına sahip GPU kartlarının kullanımı ile daha da artabilecektir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar farklı GPU kartları kullanımı ile yeni araştırmalara öncülük sağlayacaktır.



BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında binalar üzerinde daha hassas ve doğru güneş potansiyeli tahmini için yeni bir güneş enerjisi yaklaşımı sunulmaktadır. Başlangıçta, literatürde yer alan global güneş radyasyonu ve global güneş radyasyonu içeriklerini tahmin eden modeller incelenmiştir. Global güneş radyasyonu tahmini için Delgado ve arkadaşları tarafından önerilen Angström katsayılarına sahip Angström-Prescott modeli kullanıldı. Angström-Prescott modelinin tahmin çıktıları Türkiye'nin farklı bölgelerinde bulunan 6 farklı şehirden gelen gerçek verilerle test edildi. Bu model kullanılarak, Türkiye'nin herhangi bir noktasına ait global güneş radyasyonu analizi icra edilebilir. Buna rağmen; bina/binaların güneş enerjisi tahminleri için tek başına bu modelin kullanımı yeterli değildir.

Kentsel ölçekte binaların çok daha hassas ve doğru güneş enerjisi tahmini için sonlu-elemanlar yöntemini, arka-yüz tespit algoritmasını, ışın izleme algoritmasını kullanan yeni bir yaklaşım sunulmaktadır. Önerilen yaklaşım CPU ve GPU platformlarında çalışabilecek şekilde uygulanmıştır. Geliştirilen uygulama, gölgelendirme analizlerini de dikkate alarak planlama aşamasında olan binaların güneş potansiyeli analizini gerçekleştirebilir.

10 binalık bir yerleşim planı çalışma alanı olarak seçilmiştir ve CPU platformları için geliştirilen DSRM uygulaması (CPU-DSRM) kullanılarak farklı bina yerleşim planlarının güneş potansiyeli değerlendirilmiştir. Sonuç olarak binaların düzeninin ve yerleşim noktalarının, binaların birbirlerine göre mesafelerinin güneş potansiyelini büyük ölçüde etkilediği görülmüştür.

Binanın inşaa edilmesinden sonra veya önce binanın güneş potansiyelinin tahmin edilmesi önemli bir görevdir. Yüksek hassasiyette ve doğrulukta tahminler

gerçekleştirmek için algoritma geliştiriciler algoritmalarına daha fazla girdi parametresi almaktadır ve bu daha fazla bekleme süresi demektir. Bekleme süresi, analiz edilecek alan arttıkça, örnekleme aralığı azaldıkça, analiz süresi arttıkça artar. Çalışma süresinin artması uygulamayı kullanışsız hale getirir. Binaların düzeninde, binalarda meydana gelen en ufak bir değişiklikte programın çalışma süresi kadar tekrar beklemek gerekir. Bu nedenle çalışma süresinin makul süreler içerisinde kalması gerekir.

Bu tez kapsamının ikinci aşamasında bekleme probleminin aşılması üzerine çalışılmıştır. Çalışma süresini azaltmak için paralel hesaplama ortamları veya özel donanım cihazları (FPGA ve GPU) gibi yazılım teknikleri ve yüksek performanslı bilgisayar kümeleri uygulamalarda tercih edilmektedir. Bilgisayar kümeleri daha esnek bir hesaplama ortamı sağlasa da, çok çekirdekli sistemler, programlama kolaylıkları ve daha küçük boyutlarda daha iyi fiyat-performans oranına sahip olması nedeniyle mevcut çalışmalarda daha fazla tercih edilmektedir. Bu araştırmaların sonunda, en iyi çözümün GPU kartları olduğuna karar verilmiştir.

CPU tabanlı bilgisayarlar için geliştirilen dinamik güneş radyasyonu modeli GPU platformlarında çalışabilecek şekilde tekrar modellenmiştir. Yeni geliştirilen modele GPU-DSRM ismi verilmiştir. Yeni algoritma, NVIDIA GTX950M GPU kartında test edilmiştir. Doğrulama ve performans optimizasyonu için çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır.

GPU-DSRM'in, aynı CPU tabanlı yaklaşım koşullarında güneş potansiyeli analizi için önemli bir performans artışı sağladığı gözlemlendi. Yazılımsal geliştirmelerle iyileştirilen sürüme karşı ortalama 45 kat, CPU tabanlı uygulamanın önceki sürümüne göre 842 kat hızlanma sağlanmıştır. CPU-DSRM modelinin analiz işlemleri saatler hatta günler almaktadır. GPU-DSRM modelinin uygulaması saniyeler içerisinde analiz gerçekleştirebilmektedir. Bu hızlanma ile kentsel ölçekte binaların güneş potansiyeli analizi saniyeler içerisinde yapılabilecektir.

3B planlardaki yüksek çözünürlüklü güneş potansiyeli analizinin, daha fazla çekirdeğe sahip güçlü GPU kartları veya birden fazla GPU kartı içeren birkaç GPU sunucusu kullanarak çalışma süresi daha fazla azaltılabilir. Gelecekteki çalışmalarda, kullanıcıların 3B bina modeli dosyalarını sisteme bir web arayüzü ile yükleyebilmeleri ve tüm hesaplamaları bulutta bulunan uzak bir sunucuda yapabilmeleri amaçlanmaktadır. Bu sayede, yüksek performanslı donanıma sahip olmayan kullanıcılar bu yazılımı uzaktan kullanabileceklerdir. Hesaplamalar, buluttaki sunuculara birden fazla GPU yüklenerek daha da hızlandırılabilir.

Geliştirilen DSRM modeli kent planlayıcıları, mimarlar, inşaat mühendisleri ve enerji yatırımcıları için ideal bir araç olacaktır. Binaların 3B olarak bir bütün halinde güneş radyasyonu analizinin gerçekleştirilmesi daha doğru kararların alınmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Hatice Selcen Seydioğulları, "Sürdürülebilir Kalkınma için Yenilenebilir Enerji," *Planlama* , pp. 19-25, 2013.
- [2] Cansu Güner, Fulya Gökşen, Ahmet Koçhan, "Sürdürülebilir Kalkınma Modeli için Çevre Duyarlı Yapılarda Malzeme Seçiminin İncelenmesi," *Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, pp. 1-14, 2017.
- [3] M. Emre Çamlıbel, Gülcemal Alhanlıoğlu, Deniz Uğurlu, "Türkiye'de yeni yapılacak konut projelerinin enerji verimliliği ile elde edilecek tasarruf ve bu tasarrufun ulusal enerji ihtiyacını ne seviyede azaltacağına analizi," *İTÜ Magazine*, 2014.
- [4] A. Esra Cengiz, Aybike Ayfer Karadağ, Cemal Onur Alpay , "An Environmentally Friendly Type of Buildings: Green Buildings," *International Refereed Journal of Design and Architecture*, 2014.
- [5] Zerrin Yılmaz, "Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji," *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, no. 91, pp. 7-15, 2006.
- [6] Enerji işleri genel müdürlüğü. Güneş enerjisi ve teknolojileri. [Erişim Tarihi]. http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx
- [7] K.N. Shukla, K. Sudhakar, S. Rangnekar, "Estimation and Validation of Solar Radiation Incident on Horizontal and Tilted Surface at Bhopal, Madhya Pradesh, India," *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*, pp. 129-139, 2015.
- [8] Zekai Şen, "Simple nonlinear solar irradiation estimation model," *Renewable energy*, pp. 342-350, 2007.
- [9] Ozan Şenkal ve Tuncay Kuleli, "Estimation of solar radiation over Turkey using artificial neural network," *Applied Energy*, pp. 1222-1228, 2009.

- [10] M. Boulifa, A. Adane, A. Mefti, S. Ameer, Z. Ameer, "The solar radiation evaluation by satellite images processing ," *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, 2010.
- [11] Igor Tyukhov, Michael Schakhramanyan, Dmitry Strebkov, Anton Tikhonov, Frank Vignola, "Modeling of solar irradiance using satellite images and direct terrestrial measurements with PV modules," 2009.
- [12] Ayu Wazira Azhari, Kamaruzzaman Bin Sopian, Azami Zaharim, Mohammad Alghoul, "A new approach for predicting solar radiation in tropical environment using satellite images - Case study of Malaysia," *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 2008.
- [13] Pierrick Haurant, Cyril Voyant, Marc Muselli, Marie-Laure Nivet, Christophe Paoli, "Hourly global radiation prediction from geostationary satellite data," in *EU PVSEC*, 2013.
- [14] Yan Li, Ding Ding, Chunlu Liu, Chongjie Wang, "A pixel-based approach to estimation of solar energy potential on building roofs," *Energy and Buildings*, vol. 129, pp. 653-573, 2016.
- [15] O. Şenkal ve T. Kuleli, "Estimation of solar radiation over Turkey using artificial neural network and satellite data," *Applied Energy*, pp. 1222-1228, 2009.
- [16] Samuel Chukwujindu Nwokolo ve Julie C. Ogbulezie, "A quantitative review and classification of empirical models for predicting global solar radiation in West Africa," *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, pp. 367-396, 2018.
- [17] Bueno Delgado, Madrid Paredes, Molina Martínez, "Software application for calculating solar radiation and equivalent evaporation in mobile devices," *Agricultural Water Management*, vol. 151, pp. 30-36, 2015.
- [18] Gana N. N., Jitendra K. Rai, Musa Momoh, "Angstrom constants for estimating solar radiation using four sunshine based models in Kebbi, North-Western, Nigeria," *Int J Sci Eng Res*, vol. 5, pp. 1636-1647, 2014.
- [19] Okonkwo G.N ve Nwokoye A.O.C, "Testing the predictive efficiencies of four Angstrom-type models for estimating solar radiation in Bida, Nigeria," *IOSR Journal of Applied Physics*, pp. 15-17, 2014.

- [20] T. R. Ayodele ve A. S. O. Ogunjuyigbe, "Performance assessment of empirical models for prediction of daily and monthly average global solar radiation: the case study of Ibadan, Nigeria," *International journal of ambient energy*, vol. 38, no. 8, pp. 803-813, 2017.
- [21] A. Angstrom, "Solar and terrestrial radiation," *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, pp. 121-125, 1924.
- [22] J.A. Prescott, "Evaporation from water surface in relation to solar radiation," *Trans. R. Soc. Aust.*, pp. 114-118, 1940.
- [23] Nurullah Arslanoğlu, "Evaluation and establishment of diffuse solar radiation models for Bursa, Turkey," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, pp. 2788-2797, 2016.
- [24] K. Bakirci, "The Calculation of Diffuse Radiation on a Horizontal Surface for Solar Energy Applications," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, pp. 887-898, 2010.
- [25] Koray Ulgen ve Arif Hepbasli, "Diffuse solar radiation estimation models for Turkey's big cities," *Energy Conversion and Management*, pp. 149-156, 2009.
- [26] Kamil Kaygusuz ve Teoman Ayhan, "Analysis of solar radiation data for Trabzon, Turkey," *Energy Conversion and Management*, pp. 545-556, 1999.
- [27] Zekai Şen ve Elçin Tan, "Simple models of solar radiation data for Northwestern part of Turkey," *Energy Conversion and Management*, 2001.
- [28] Sefa Tarhan ve Ahmet Sarı, "Model selection for global and diffuse radiation over the Central Black Sea (CBS) region of Turkey," *Energy Conversion and Management*, vol. 46, no. 4, pp. 605-613, 2005.
- [29] L. Wong ve W. Chow, "Solar radiation model," *Appl. Energy*, pp. 191-224, 2001.
- [30] Hyun-Jin Lee, Shin-Young Kim, ve Chang-Yeol Yun, "Comparison of Solar Radiation Models to Estimate Direct Normal Irradiance for Korea," *energies*, 2017.

- [31] C.S. Solanki ve C.S. Sangani, "Estimation of monthly averaged direct normal solar radiation using elevation angle for any location," *Solar energy materials and solar cells*, pp. 38-44, 2008.
- [32] K. N. Shukla, Saroj Rangnekar, K. Sudhakar, "Comparative study of isotropic and anisotropic sky models to estimate solar radiation incident on tilted surface: A case study for Bhopal, India," *Energy Reports*, pp. 96-103, 2015.
- [33] Alex S. Olpenda, Krzysztof Sterenczak, Krzysztof Bedkowski, "Modeling Solar Radiation in the Forest Using Remote Sensing Data: A Review of Approaches," *remote sensing*, 2018.
- [34] Matej Brumen, Niko Lukac, Borut Zalik, "GIS Application for Solar Potential Estimation on Buildings Roofs," in *The Second International Conference on Building and Exploring Web Based Environments*, 2014.
- [35] Carl Caroline, Calculating solar photovoltaic potential on residential rooftops in Kailua Kona, Hawaii, 2014.
- [36] D.C. Brandt, Rooftop Solar Capacity Modeling using GIS Within the City of Stillwater, MN, 2013.
- [37] M. Brito, N. Gomes, T. Santos, J. Tenedório, "Photovoltaic potential in a Lisbon suburb using LiDAR data," *Solar Energy*, vol. 1, no. 86, pp. 283-288, 2012.
- [38] P. Redweik, C. Catita, M. Brito, "Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape," *Solar Energy*, vol. 97, pp. 332-341, 2013.
- [39] C. Catita, P. Redweik, J. Pereira, M. C. Brito, "Extending solar potential analysis in buildings to vertical facades," *Computers & Geosciences*, vol. 66, pp. 1-12, 2014.
- [40] Jochem Andreas , B. Höfle, M. Rutzinger, "Extraction of Vertical Walls from Mobile Laser Scanning Data for Solar Potential Assessment," *Remote Sensing*, vol. 3, no. 12, pp. 650-667, 2011.
- [41] G. Agugiaro et al., "Solar radiation estimation on building roofs and web-based solar cadastre," in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Avustralya, 2012.

- [42] Jaro Hofierka ve Marian Zlocha, "A New 3-D Solar Radiation Model for 3-D City Models," *Transaction in GIS*, vol. 16, no. 5, pp. 681-690, 2012.
- [43] G. Agugiaro, F. Remondino, G. Stevanato, R. De Filippi, C. Furlanello, "Estimation of Solar Radiation on Building Roofs in Mountainous Areas," in *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 3*, İtalya, 2011.
- [44] Annie Chow, Alan S. Fung, Songnian Li, "GIS Modeling of Solar Neighborhood Potential at a Fine Spatiotemporal Resolution," *Buildings*, vol. 4, pp. 195-206, 2014.
- [45] Fredrik Lindberg, Per Jonsson, Tsuyoshi Honjo, Dag Wästberg, "Solar energy on building envelopes – 3D modelling in a 2D environment," *Solar Energy*, vol. 115, pp. 369-378, 2015.
- [46] Jiyeong Lee ve Sisi Zlatanova, "Solar Radiation over the Urban Texture: LIDAR Data and Image Processing Techniques for Environmental Analysis at City Scale," in *3D Geo-Information Sciences*.: Springer, 2009, pp. 319-340.
- [47] M. Bremer, A. Mayr, V. Wichmann, K. Schmidtner, M. Rutzinger, "A new multi-scale 3D-GIS-approach for the assessment and dissemination of solar income of digital city models," *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 57, pp. 144-154, 2016.
- [48] Li Yan ve Chunlu Liu, "Estimating solar energy potentials on pitched roofs," *Energy and Buildings*, vol. 139, pp. 101-107, 2017.
- [49] N. Alam, V. Coors, S. Zlatanova, P. J. M. Oosterom, "Shadow effect on photovoltaic potentiality analysis using 3D city models," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, pp. 209-214, 2012.
- [50] Juan Pablo Silva et al., "Another step to the full GPU implementation of the weather research and forecasting model," *The Journal of Supercomputing*, vol. 70, pp. 746-755, 2014.
- [51] Ronald M. Gualán-Saavedra, Lizandro D. Solano-Quinde, Brett M. Bode, "GPU Acceleration of the Horizontal Diffusion Method in the Weather Research and Forecasting (WRF) Model," in *2015 Asia-Pacific Conference on Computer Aided System Engineering*, 2015.

- [52] Yan Huang et al., "Estimating Roof Solar Energy Potential in the Downtown Area Using a GPU-Accelerated Solar Radiation Model and Airborne LiDAR Data," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 7, pp. 17212-17233, 2015.
- [53] Jacobo Salvador et al., "Performance Improvements of an Atmospheric Radiative Transfer Model on GPU-based platform using CUDA," in *XXI Congreso Argentino de Ciencias de la Computacion*, 2015.
- [54] Krishnahari Thouti ve S. R. Sathe, "Comparison of OpenMP & OpenCL Parallel Processing Technologies," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 3, no. 4, pp. 56-61, 2012.
- [55] Craig A. Lee et al. "Recent Developments in High Performance Computing for Remote Sensing: A Review," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 4, no. 3, pp. 508-527, 2011.
- [56] Javier Delgado, Joao Gazolla, Esteban Clua, S. Masoud Sadjadi, "A Case Study on Porting Scientific Applications to GPU/CUDA," *Journal of Computational Interdisciplinary Sciences*, vol. 2, no. 1, pp. 3-11, 2011.
- [57] Xiangyun Hu, Xiaokai Li, Yongjun Zhang, "Fast Filtering of LiDAR Point Cloud in Urban Areas Based on Scan Line Segmentation and GPU Acceleration," *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, vol. 10, no. 2, pp. 308–312, 2013.
- [58] Sašo Pečnik ve Borut Žalik, "Real-Time Visualization Using GPU-Accelerated Filtering of LiDAR Data," *International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, vol. 8, no. 12, pp. 2108–2112, 2014.
- [59] Ramanathan Sugumaran, Dossay Oryspayev, and Paul Gray, "GPU-based cloud performance for LiDAR data processing," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Computing for Geospatial Research & Applications*, 2011.
- [60] Jing Li et al., "GPU-based lightweight parallel processing toolset for LiDAR data for terrain analysis," *Environmental Modelling & Software*, vol. 117, pp. 55-68, 2019.

- [61] S. Tabik, A. Villegas, E. L. Zapata, L. F. Romero, "Optimal tilt and orientation maps: a multi-algorithm approach for heterogeneous multicore-GPU systems," *The Journal of Supercomputing*, vol. 66, pp. 135–147, 2013.
- [62] Siham Tabik, A. Villegas, E.L. Zapata, L.F. Romero, "A Fast GIS-tool to Compute the Maximum Solar Energy on Very Large Terrains," *Procedia Computer Science*, pp. 364–372, 2012.
- [63] Zhao Yanjie, Yao Guoqing, Ding Yanqing, "Parallel Computation of Ground Radiation Simulation Based on GPU," *Procedia Computer Science*, vol. 107, pp. 9-14, 2017.
- [64] Nathaniel L. Jones ve Donald P. Greenberg , "Hardware accelerated computation of direct solar radiation through transparent shades and screens," in *5th National Conference of the International Building Performance Simulation Association*, USA, 2012.
- [65] T. V. Russkova, "Monte Carlo Simulation of the Solar Radiation Transfer in a Cloudy Atmosphere with the Use of Graphic Processor and NVIDIA CUDA Technology," *Atmospheric and Oceanic Optics*, vol. 31, pp. 119–130, 2018.
- [66] Jaroslav Hofierka, Michal Lacko, tanislav Zubal, "Parallelization of interpolation, solar radiation and waterflow simulationmodules in GRASS GIS using OpenMP," *Computers & Geosciences*, vol. 107, pp. 20-27, 2017.
- [67] Niko Lukac ve Borut Zalik, "GPU-based roofs' solar potential estimation using LiDAR data," *Computers & Geosciences*, vol. 52, pp. 34-41, 2013.
- [68] John A. Duffie ve William A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes," in *Gear Team.*: Wiley, 2013.
- [69] Andrew S. Glassner , *An introduction to ray tracing*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2002.
- [70] Ömer Çakır ve Cemal Köse, "Etkileşimli ışın izleme ," in *11. Elektrik Elektronik Bilgisayar Muhendisliği Ulusal Kongresi*, 2005.
- [71] Tomas Möller ve Ben Trumbore, "Fast Minimum Storage Ray/Triangle Intersection ," 1997.

- [72] İsmail Akkaya, Melez yöntemle elastik dalga denkleminin iki-boyutta modellenmesi, 2011.
- [73] D. Shojaee, H. Helali, AA. Alesheikh, Triangulation for surface modeling.
- [74] İ. Öztuğ Bildirici ve H. Zahit Selvi, "Model geliştirilmesinde geometri değişimlerinden alan-çizgi dönüşüm yöntemleri," in *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası-10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 2005.
- [75] C. Bradford Barber, David P. Dobkin, Hannu Huhdanpaa, "Qhull: Quickhull algorithm for computing the convex hull," *Astrophysics Source Code Library, Software*, 2013.
- [76] Bayram Akgül ve Hakan Kutucu, "Convex Hull Problemine Genel Bakış: Algoritmalar ve Karmaşıklıkları," in *Akademik Bilişim Sempozyumu*, Eskişehir, 2015.
- [77] C. A. Lee, S. D. Gasster, A. Plaza, C. I. Chang, B. Huang , "Recent Developments in High Performance Computing for Remote Sensing: A Review," *The IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 4, no. 3, pp. 508-527, 2011.
- [78] Md Akizur Rahman ve Ravie Chandren Muniyandi, "Review of GPU implementation to process of RNA sequence on cancer," *Informatics in Medicine Unlocked*, vol. 10, pp. 17-26, 2018.
- [79] NVIDIA CUDA C Programming Guide. http://developer.download.nvidia.com/compute/DevZone/docs/html/C/doc/CUDA_C_Programming_Guide.pdf, Erişim Tarihi: 10.04.2019.
- [80] Nazire Merve Çetin, "GPU Hızlandırmalı Veri Demetleme Algoritmalarının İncelenmesi ," *Online Academic Journal of Information Technology*, vol. 4, no. 12, 2013.
- [81] Taner Uçkan ve Deniz Dal, "OPENGL tabanlı animasyonlarda görüntü kalitesinin CUDA mimarisi ile iyileştirilmesi," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, vol. 21, no. 1, 2016.

- [82] Mahder Gebremedhin, Afshin Hemmati Moghadam, Peter Fritzson, Kristian Stavåker, "A Data-Parallel Algorithmic Modelica Extension for Efficient Execution on Multi-Core Platforms," in *In Proceedings of the 9th International Modelica Conference (Modelica'2012)*, Munich, Germany, 2012.
- [83] Sümeyye Kaynak, Baran Kaynak, Ahmet Özmen, "A software tool development study for solar energy potential analysis," *Energy and Buildings*, vol. 162, pp. 134-143, 2018.
- [84] Altimesh Hybridizer <http://www.altimesh.com/>, Erişim Tarihi: 10.04.2019.
- [85] Shuai Che et al., "A performance study of general-purpose applications on graphics processors using CUDA," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 68, no. 10, pp. 1370-1380, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Sümeyye Kaynak, 26.05.1989'da Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2007 yılında Sakarya Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında bitirdi. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitime başladı. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2014 yılında Sakarya Üniversite Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde doktora eğitime başladı. Halen Sakarya Ünivesitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.