

Açık Kaynak Kodlu 3D Oyun Motorları

Devkan Kaleci¹, Hasan KIRAN¹, Serkan DİNÇER²

¹ İnönü Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü, Malatya

² Çukurova Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü, Adana

devkan@inonu.edu.tr, hasankiran@e-mail.com.tr, dincerserkan@cu.edu.tr

Özet: Teknolojinin gelişimine paralel olarak ilerleme gösteren 3 boyutlu modelleme, gerçeğe benzer görüntüler yaratmak olarak tanımlanır. Bu noktada bilgisayar oyunları, teknolojinin eğlence alanında en yaygın kullanım alanlarının başında gelmektedir. Bilgisayar oyunları, bilgisayarı eğlence ve eğitim ortamı haline getiren bilgisayar yazılımlarıdır. Günümüz oyun tasarımı ve bilgisayar teknolojisi iç içe geçmiştir. Bilgisayar teknolojisi geliştikçe daha kaliteli oyunlar üretilmekte, oyunlar geliştirildikçe ise, yeni ve gelişmiş donanımlara olan ihtiyaçlar ortaya çıkmaktadır ve oluşan bu ihtiyaçlar mevcut bilgisayar teknolojisinin geliştirilmesinin önünü açmaktadır. Günümüzde bilgisayar oyunları, sinema ve müzik gibi endüstri haline gelmiş ve bütçeleri milyon dolarlarla ifade edilmeye başlanmıştır. Bu konuda faaliyet gösteren birçok ticari firma kendi oyun motorlarının üretmekte ve çoğu zaman sadece kendi ürettikleri oyunlarda kullanılmaktadırlar. Diğer taraftan açık kaynak kodlu oyun motorları yardımı ile bu tür konulara ilgi duyan yazılımcılar hiçbir ücret ödemediği kendi oyun geliştirme ortamını oluşturabilmektedirler.

Bu çalışmada 3 boyutlu açık kaynak kodlu oyun motorları hakkında detaylı bilgiler verilerek, uygulama amaçlarına uygun oyun motoru seçimi için teknik ve yöntemler sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: 3D Modelleme, Açık Kaynak Kod, 3D Oyun Motoru

1. Giriş

Oyun yetenek ve zekâ geliştirici, belli kuralları olan, iyi vakit geçirmeye yarayan eğlence veya bedence ve kafaca yetenekleri geliştirmek amacıyla yapılan, çevikliğe dayanan her türlü yarışma olarak tanımlanmaktadır [3].

Video oyunları bilgisayar veya mikroişlemci kontrollü oyunlardır ve kullanıcı – kullanıcı veya kullanıcı – yapay zekâ arasında sanal ortamlar ve araçlar oluşturulması ile oynanır. Video oyunlarında kullanıcı kontrolleri klavye, fare, joystick, harekete veya sese duyarlı algılayıcı ile yapılır.

Oyun motoru, bazı kurumlar ya da kişiler tarafından tasarlanan programlar bütünüdür. Oyun motorları özel tanımlanmış kütüphane ve fonksiyonlardan, programlama dillerinden, tasarım detaylarını içeren

bilgilerden oluşur. Oyun motorları daha önceden yazılmış bu kaynakları kullandığından geliştiricisini büyük bir zaman kaybindan ve karmaşıklıktan kurtarır. Ayrıca oyun motorları, sonradan değiştirilebilir, geliştirilebilir ve yeniden düzenlenebilirler [1,19].

İnsanoğlunun eğlenceye, hoşça vakit geçirmeye olan ilgisi her çağda farklılıklar gösterse de hiçbir zaman önemini kaybetmemiştir. Özellikle 20. yüzyılla beraber bilim ve teknoloji alanında meydana gelen gelişmeler birlikte hayatımıza yeni çok sayıda eğlence aracını sokmuştur. Söz konusu dijital devrimlerin yaşandığı bu yüzyılda insanlar sürekli gelişen ve değişim gösteren bu yeniliklere kayıtsız kalmamıştır. 1958 yılında, New York Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'nda, William A. Higinbotham osilaskop ile oynanabilen bir oyunu geliştirdi [12]. Bu gelişmeden üç

yıl sonra, 1961 yılında ise, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden Steve Russell, Spacewar adını verdiği ilk iki kişilik etkileşimli oyunu geliştirdi [2]. 1968 yılında ise, ilk bilgisayar oyunu patentini "Brown Box" oyun konsolu ile aldı [14].

Bilgisayar oyunlarını eğlence sektörüne sokma girişimi, 1971 yılında Nolan Bushnell'in Computer Space adını verdiği ilk jetonlu oyun makinesi ile başarılıydı. Bushnell daha sonra Atari şirketini kurarak Alan Alcorn ile karşılıklı iki sopa ve bir top ile oynanan Pong adlı oyunu geliştirdi [11]. 1972 yılında, William A. Higinbotham tarafından ilk ticari oyun olan Odyssey satışa sunuldu [17]. Böylece oyun tarihinde arz talep çarkları dönmeye başladı. 1979'da Atari firması tarafından resim tabanlı sisteme alternatif olarak Lunar Lander isimli oyunla beraber vektör tabanlı grafikler oyunlarda kullanılmaya başlandı [13]. Grafiksel olarak çok güçlü bir oyun olmasa da vektörlerin grafik olarak kullanıldığı ilk oyun olması yeni yaklaşımlara ve bugün çok yaygın olan üç boyutlu oyunlara kaynak teşkil etmesi açısından önemlidir.

1992 de ID Software ilk üç boyutlu oyun olan Wolfenstein'ı piyasaya sürdü [8]. PC ortamında çalışan bu oyun yeni bir çağın da başlangıcı olmuştur. Bu oyunla beraber perspektif ve birinci kişi gözünden bakış oyun dünyasına girdi ve görsel tasarımlar sembolizmden gerçekçiliğe kaymaya başladı. 1993 yılında ID Software Doom adlı oyunuyla birlikte gerçekçiliğe dayalı oyunlarda şiddet öğeleri daha belirgin şekilde kullanılmaya başlandı. Bu tür şiddet öğelerini düzenleme altına almak amacıyla 1994 yılında oyunların içeriğini denetleyen ve sınıflandırma yapan ESRB (Entertainment Software Rating Board) kuruldu [7]. Sony, 1994 yılında üç boyutlu oyun desteği sunan PlayStation konsolunu piyasaya sürdü ve ilk ay içinde 300.000 âdetin üzerinde satış rakamına ulaşarak başarısını kanıtladı.

1995 yılında ID Software Quake adlı oyunu piyasaya sürmesi ile birlikte bilgisayarlarda üç boyutlu ekran kartları yaygınlaşmaya başladı. Böylece bilgisayar oyunları artık hem görsel hem de mantıksal olarak gerçekçi bir yapıya bürünmüş oldu. Bu dönemde birbiri ardına çıkan çok sayıda oyunlar günümüz oyunlarının kökenlerini oluşturmaktadır. 2000'li yıllarla beraber bilgisayar ve donanım ürünlerindeki gelişmelere paralel olarak bilgisayar oyunları ve 3 Boyutlu (3D) grafik teknolojilerinde de önemli atılımlar olmuş ve daha gerçekçi oyun ve sanal ortamların oluşturulmasının yolu açılmıştır.

2. 3D Modelleme

3D modelleme, bilgisayar ortamında bir nesnenin çeşitli metotlar kullanılması ile matematiksel olarak vektörel bir formatta oluşturulması olarak ifade edilebilir. Ortaya çıkan ürün model alınan nesnenin geometrik bir temsildir. Modelleme işlemi için uygulanacak belirli bir kural yoktur. İstenilen şekli hazırlamak için hangi tekniğin kullanıldığı değil, gerçeğe ne kadar yaklaşıldığı önemlidir.

3D video oyunlarında görünebilecek tüm nesnelere modellenmelidir. Modelleme uzun ve zahmetli bir süreçtir. Üç boyutlu çizimi yapılacak olan nesnelere öncelikle iki boyutlu olarak taslak halinde oluşturulur. Taslaklar oyun içinde kullanıldıklarından bölüme göre değerlendirilip varsa düzeltmeleri yapıldıktan sonra 3D modelleri yapılmalı ve ortam, araç ve karakterler gerçeğe en yakın formlarında oluşturulmasına dikkat edilmelidir.

Çoğu oyun motorunda dâhili 3D tasarım ara yüzü olmasına rağmen daha gerçekçi ortamlar oluşturabilmek için harici 3D modelleme yazılımlarının kullanımı daha yaygındır. Bu tür yazılımlardan en çok kullanılanlardan bazıları 3ds Max, Cinema 4D, Blender, Lightwave ve AutoCad 3D şeklinde sayılabilir.

3. 3D Oyun Türleri

Bilgisayar oyunu geliştirme aşamasının temelinde, geliştirilmesi düşünülen oyun türünün yapısına uygun bir oyun motorunun seçilmesi yatmaktadır. Oyunun geliştirme sürecinin başında öncelikle oyunun ne amaçla ve hangi türde olacağı kararlaştırılmalıdır.

Oyun türleri genellikle oynanış tarzlarına göre sınıflandırılırlar. Sistematik bir sınıflandırma yapılamamasının nedeni, konu hakkında bilimsel herhangi bir çalışmanın yürütülmemiş olması ve kişi ya da kurumların keyfi isimlendirmeleri olarak gösterilebilir. Yine de oyun türleri olarak irdelebilecek ana başlıklar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

3.1. Aksiyon

Aksiyon oyunları tipik olarak ateşli silah ve fiziki şiddet içerir. Bu terim, birinci şahıs nişancı (FPS - **F**irst **P**erson **S**hooter) oyun türüne eş değer olarak da kullanılır. Aksiyon türü hikâye ve stratejiden çok el göz koordinasyonuna dayanan, hız ve refleks temelli oyunlardır. Bu tür oyunlar, aksiyon filmlerinin video oyunu formatına dönüştürülmüş hali olarak ifade edilebilir.

3.2. Strateji

Strateji oyunları mantıksal düşünme ve planlama üstüne kurulu oyun türleridir. Genellikle kaynak yönetimi ve zaman ayarlama kriterleri vurgulanırken, aksiyon ve karakterler ikinci planda kalır. Kazanmak için taktiksel organizasyon ve uygulama gereklidir. Bu tür oyunlarda karar verme ve komut dağıtım yetkisi genellikle oyuncudadır. Ağır silah oyunu, büyük strateji oyunu, gerçek zamanlı strateji,

gerçek zamanlı taktik oyunu, taktiksel savaş oyunu gibi alt başlıkları bulunur.

3.3. Macera

Macera oyunları, araştırma, keşif, bulmaca çözüme gibi unsurları içeren, hikâyeye odaklı video oyunu türleridir. Bu terim macera filmleri ya da macera romanlarıyla doğrudan ilgili değildir. Macera oyunlarında, oyuncu belli bir senaryo eşliğinde bulmacalar ve bilinmeyenlerle dolu bir yolculuk içindedir. Genellikle doğrusal bir kurguya sahip macera oyunlarında ana karakter veya kahraman esas amacına ulaşmak için karşısına çıkan diğer karakterlerle interaktif ilişkiler kurar ve çevresindeki objeleri kullanarak engelleri aşar.

3.4. Rol Oyunları (RPG - Role Playing Game)

Rol oyunları, oyuncuların oynadıkları karakterlerin kişiliklerine bürünerek birleşik bir hikâye yarattıkları oyun türleridir. Çeşitli yönlerden macera türüne benzeyen fakat bulmacalardan çok karakterlerin gelişimi, diyaloglar ve stratejik savaş üzerinde kurulu oyunlardır. Genel olarak oyun, oyuncu olmayan karakterlerle dolu büyük bir fantezi dünyasında geçer. Geleneksel macera oyunlarındaki tek düzenlilikten farklı olarak değişik alternatifler doğrultusunda olayların gidişatı da değişebilmektedir.

3.5. Simülasyon Oyunları

Simülasyon, gerçek bir sistemin modelini tasarlama süreci ve sistemin davranışını anlamak veya değişik stratejileri değerlendirmek amacı ile geliştirilen bu model üzerinde denemeler yapmaktır. [19]. Genellikle simülasyon oyunları, oyuncuyu birinci şahıs perspektifinden görünen üç

boyutlu bir korpite sokarak, uçak, tank, helikopter ve denizaltı gibi kompleks araçların kontrolüne geçiren oyun türleridir.

3.6 Spor Oyunları

Spor oyunları, geleneksel sporların oynanışları taklit edilerek geliştirilmiş video ve bilgisayar oyunlarıdır. Spor oyunları, bir oyuncunun, bir kameranın ya da bir teknik direktörün gözünden, sanal ortamlar oluşturularak oyunların yönetilmesi sağlanır. Bu tür oyunlarda aksiyonun hızı ve taktiklerin geçerliliği kadar gerçekçilik de önemlidir. Birçok spor oyunu, gerçek ligleri temel almakta ve kulüplerin isim haklarını almakta ve kulüpte yer alan oyuncuların karakteristik özelliklerine uygun şekilde tasarlanmaktadır. Ayrıca istatistiksel değişiklikler her yeni sürümle beraber güncellenmektedir.

4. Açık Kaynak Kodlu Oyun Motorları

4.1. Ogre 3D Oyun Motoru

OGRE (Object-oriented Graphics Rendering Engine) bir çekirdek ekip tarafından yazılmış ve yönetilen, giderek büyüyen kullanıcılar tarafından desteklenen açık kaynak kodlu grafik işleme ve 3D oyun motoru yazılımı grubudur [9]. Ogre 2005 yılında SourceForce projesi olarak ortaya çıkmış Ankh, Torchlight ve Garshasp gibi bazı ticari oyunlarda kullanılmıştır.

C++ programlama dilinden türetilmiş PureBasic, C#, Java, Python, Ruby gibi betik dillerin yanı sıra Ogre API kütüphanesi desteğini de vermektedir. Yazılım Windows, Linux ve Mac OSX platformlarında çalışmakta, aynı zamanda 2D ve 3D grafik uygulamalarını desteklemektedir. Şekil 1'de Ogre 3D ile tasarlanmış oyun görüntüleri verilmiş

olup, temel özellikleri ise aşağıdaki sunulmuştur.

- OpenGL ve Direct3D yazılımlarını destekler.
- Otomatik render durum yönetimi ve hiyerarşik seçim işlemlerini yapar.
- Script ve materyalleri kontrol etmede oldukça güçlüdür.
- GIF, JPG, PNG, TGA, DDS, TIF gibi resim formatlarının yanı sıra volumetric textures, cubemaps ve compressed textures gibi formatları destekler.
- Nesnelerin saydamlığını otomatik olarak sağlar.



Şekil 1: Ogre 3D ile tasarlanmış oyun görüntüleri.

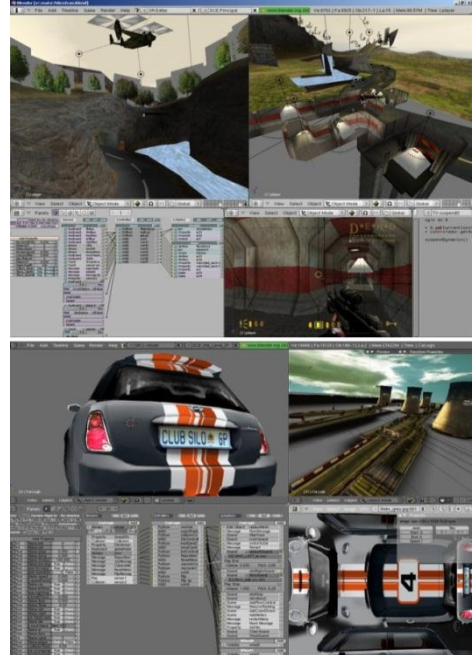
4.2. Blender Oyun Motoru

Blender oyun motoru, dâhili grafik, mantık, ses, ağ ve fizik motoru gibi etkileşimli modülleri içeren açık kaynak kodlu ve tamamen ücretsiz olarak dağıtılan 3D oyun motoru yazılım grubudur [4]. Blender 3D modelleme ve animasyon konusunda kendini kanıtlamış güçlü bir yazılımdır ve Python API kütüphanesini kullanan bir oyun motoru barındırmaktadır. Yazılım, Windows, Linux, MacOS ve BSD gibi farklı platformlarda çalışabilmektedir. Şekil 2’de Blender ara yüzü ve tasarlanmış oyun görüntüleri verilmiş olup, temel özellikleri ise aşağıdaki sunulmuştur.

- Etkileşimli davranışları tanımlamak için mantık editör içerir.
- İçinde dâhili çarpışma algılama ve dinamik simülasyonları için Bullet Fizik Kütüphanesi bulunur.
- RigidBody simülasyonu için ayrık çarpışma algılama özelliği vardır.
- Aktivasyon dinamik kısıtlama desteği sağlar.
- Araç dinamikleri için mevsimsel reaksiyonlar, amortisör, lastik sürtünmesi gibi özellikleri sunar.
- Gelişmiş oyun mantığı ve yapay zeka tasarımı için Python API kütüphanesi ve grafiksel kullanıcı arabirimi vardır.
- Tüm OpenGL modlarını destekler.
- Multimaterials, multitexture ve doku karıştırma modları, piksel başına aydınlatma, dinamik ışıklandırma, haritalama modları, GLSL vertexPaint

doku harmanlama, toon gölgeleme, animasyon malzemeleri sağlar.

- Normal ve Paralaks haritalama desteği verir.
- TGA, JPG, PNG, OpenEXR, DPX, Cineon, Radiance HDR, Iris, SGI Movie, IFF, AVI ve Quicktime GIF, TIFF, PSD, MOV (Windows ve Mac OS X) dosya desteği bulunur.
- 3D Studio, AC3D, COLLADA, FBX, DXF, Wavefront OBJ, DEC Object File Format, DirectX, Lightwave, MD2, Motion Capture, Nendo, OpenFlight, KAT, Pro Engineer, Radiosity, Raw Triangel, Softimage, STL, TrueSpace, VideoScape, VRML, VRML97 X3D genişletilebilir 3D, Xfig 3D dosya biçimi desteği bulunur.



Şekil 2: Blender ara yüzü ve tasarlanmış oyun görüntüleri.

4.3. CAFU Oyun Motoru

Cafu FPS tarzı çoklu oyuncu desteği sunan Carsten Fuchs tarafından geliştirilmiş GPL lisanslı ve tamamen ücretsiz bir oyun motorudur [5]. Cafu, oyunlar, simülasyonlar, eğitim ve mimari yazılımlar da dâhil olmak üzere çeşitli 3D uygulamalar oluşturmak için kullanılabilir. Cafu oyun motoru C++ ve Lua programlama dilleri ile geliştirilmiştir ve Windows ve Linux platformlarında çalışan versiyonları bulunmaktadır. Kullanılan çoklu oyuncu sistemi sayesinde herhangi bir kullanıcı sunucu veya istemci rolünü üstlenebilir. Şekil 3'de Cafu ara yüzü ve tasarlanmış oyun görüntüleri verilmiş olup, temel özellikleri ise aşağıdaki sunulmuştur.

- OpenGL 2.0, DirectX 7 - 9, Cg, GLSL ve Mesa API desteği sağlar.
- Harita ve modeller için dinamik piksel başına aydınlatma özelliği bulunur.
- Mp3 ve ogg vorbis ses dosyası desteği vardır.
- Animasyonlu modeller için vertex karıştırma ve iskelet tabanlı animasyon desteği sağlar.
- Dlod ayrıklı seviye detay sistemi kullanımına olanak verir.
- Başlatılırken konfigürasyona uygun render modunu otomatik belirler.
- Doğrudan jpeg, bmp, tga ve png dosya türlerinin kullanılmasına olanak sağlar.

- Ağ paketleri için Delta sıkıştırma yöntemini kullanır.



Şekil 3: Cafu ara yüzü ve tasarlanmış oyun görüntüleri.

4.4. SPRING Oyun Motoru

Spring gerçek zamanlı strateji oyunları oluşturmak için İsveçli Yankspankers adında bir grup tarafından geliştirilmiş açık kaynak kodlu oyun motorudur [10,18]. Genelde Spring ile çoklu veya tekil oyuncu destekli oyunlar tasarlanmasına rağmen çevrimiçi oyunlar geliştirme desteği de sunmaktadır. Spring oyun motoru C++ ve Lua programlama dilleri yazılmış olup harita editörü ile hızlı ve kolayca yeni oyun haritalarının oluşturulmasına olanak sağlar. Yazılımın Windows, Linux ve MacOS platformlarında çalışabilen versiyonları bulunmaktadır. Şekil 4'de Spring oyun motoru ile tasarlanmış oyun

görüntüleri verilmiş olup, temel özellikleri ise aşağıdaki sunulmuştur.

- Tam OpenGL API desteği sağlar.
- Düşük sistem gereksinimlerine ihtiyaç duyar.
- Kara, deniz ve hava savaşları için geliştirilmiş fizik motoru ile gerçekçi silah yörüngeleri oluşturulabilir.
- Geliştirilmiş parçacık ve deformasyon efektleri bulunur.
- İçinde dahili olarak 3. parti yapay zeka yazılımı yer alır.
- Çok sayıda tanımlı kamera modu bulunmaktadır.
- Doğrudan jpeg, bmp, tga ve png dosya türlerini kullanabilmesine olanak sağlar.



Şekil 4: Spring ile tasarlanmış oyun görüntüleri.

4.5. Delta3D Oyun Motoru

Delta3D oyun motoru henüz tamamlanmış bir proje olup özellikle 3D oyun ve simülasyonlar oluşturmak için kullanılabilen açık kaynak kodlu bir oyun motordur [6,16]. Delta3D'nin temel amacı, tüm görselleştirme uygulamaları tarafından gerekli olan temel unsurları ile esnek ve tek bir API sağlamaktır. Delta3D Windows ve Linux platformlarında çalışabilmektedir. Şekil 5'de Delta3D oyun motoru ile tasarlanmış oyun görüntüleri verilmiş olup, temel özellikleri ise aşağıdaki sunulmuştur.

- Tam OpenGL API desteği verir.
- 3dc, 3ds, ac, dw, flt, geo, ive, logo, lwo, lws, md2, obj, osg, tgz, x, zip, bmp, dds, gif, jpg, pic, png, pnm, rgb, tga, tiff, txp dosya destekleri sağlar.
- Çoklu kamera ve çoklu pencere desteği sağlar.
- İçinde dahili ODE fizik motorunu barındırır.
- Oyun içi mesajlaşma desteği sunar.
- İstemci - sunucu yapısı ile çoklu oyuncu desteği sağlar.
- 2D ve 3D tam kontrollü ses oynatım desteği verir.
- Python programlama dili için grafiksel arabirim içerir.
- 3D haritalar oluşturmak için güçlü bir editörü bulunmaktadır.

- Dâhili parçacık efekti oluşturmak için geliştirilmiş Graphical Partical Effect Editor vardır.
- 3D modellerin ön izlemesini göstermek için geliştirilmiş 3D Model Viewer uygulamasını içerir.



Şekil 5: Delta3D ile tasarlanmış oyun görüntüleri.

5. Sonuç ve Tartışma

Bilgisayar oyunları, özü itibariyle ofis uygulamaları, işletim sistemi uygulamaları gibi birer bilgisayar yazılım topluluğu olmasına rağmen, teknolojinin eğlence alanında en yaygın kullanımlarının başında gelmektedir. Bilgisayar oyunları ile

bilgisayar teknolojisinin birbirini tetiklemesi neticesinde her iki alanda inanılmaz bir gelişim gözlenmektedir. Bilgisayar teknolojisi geliştikçe daha kaliteli oyunlar üretilmekte, oyunlar geliştirildikçe ise, sistem olarak yeni ihtiyaçlar ortaya çıkmaktadır ve oluşan bu ihtiyaç mevcut bilgisayar teknolojisinin geliştirilmesinin önünü açmaktadır.

Oyun motorları göz önüne alındığında en büyük dezavantaj olan maliyet, açık kaynak kodlu ve ücretsiz yazılımların diğer artılarıyla birlikte büyük ölçüde ortadan kalkmaktadır. Amatör bir geliştiriciden profesyonel bir geliştiriciye kadar farklı kullanıcı perspektifine uygun hizmet verebilecek şekilde tasarlanmış ücretsiz ve açık kaynak kodlu render ve oyun motorları bu noktada önem kazanmakta ve her düzeydeki geliştiricinin ufkunu açmaktadır. Ayrıca oyun motorlarının kaynak kodları sürekli güncellenebilmekte ve yeni eklenti destekleri ile kişiye özel çözümler sunabilmektedirler.

Bu çalışmada açık kaynak kodlu oyun motorları birçok farklı yönden işlevsellikleri ve kullanılabilirlikleri incelenmiş olup genel değerlendirme sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Yapılan bu çalışma ile ilerde bir oyun yazmak isteyen geliştiricinin kullanım amacı ve yeterliliğine uygun oyun motoru seçebilmesi için gerekli genel bilgilere ulaşabileceği düşünülmektedir.

Tablo 1: Oyun motorlarının karşılaştırılması.

Karşılaştırma Parametresi	Oyun Motoru				
	Ogre 3D	Blender	Cafu	Spring	Delta 3D
Ana Programlama Dili	C++	C++	C++	C++	C++
Uygulama Platformu	Windows, Linux, MacOs	Windows, Linux, MacOs, BSD	Windows, Linux	Windows, Linux, MacOs	Windows, Linux
Betik Dili	Python, Java...	Python	Lua	Lua	Python
OpenGL Desteği	✓	✓	✓	✓	✓
Direct3D Desteği	✓	✗	✗	✗	✗
Ağ Desteği	✗	✗	✓	✓	✓
Fizik Motoru	ODE	Bullet	Entegre	Entegre	ODE

5. Kaynaklar

[1] A. Uysal, “Üç Boyutlu Bilgisayar Oyunları Görsel Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 2005.

[2] J. M. Graetz, The origin of Spacewars, 1981 Issue of Creative Computin Magazine.

[3] <http://tdkterim.gov.tr/bts/> (Ziyaret Tarihi: 20.01.2012).

[4] <http://www.blender.org/> (Ziyaret tarihi: Ocak 2012).

[5] <http://www.cafu.de/> (Ziyaret tarihi: Ocak 2012).

[6] <http://www.delta3d.org/> (Ziyaret tarihi: Ocak 2012).

[7] <http://www.esrb.org/> (Ziyaret tarihi: Ocak 2012).

[8] <http://www.idsoftware.com/games/wolfenstein/> (Ziyaret tarihi: Ocak 2012).

[9] <http://www.ogre3d.org/> (Ziyaret tarihi: Ocak 2012).

[10] <http://springrts.com/> (Ziyaret tarihi: Ocak 2012).

[11] H. Lowood, “Videogames in Computer Space: The Complex History of Pong”, IEEE Annals of the History of Computing, IEEE Computer Society, 2009.

[12] K. Kalning, "The anatomy of the first video game", msnbc.com, (Retrieved Date: 23.03.2009).

[13] L. Kent, “The Ultimate History of Video Games: From Pong to Pokemon--The Story Behind the Craze That Touched Our Lives and Changed the World”, 2001

[14] M. E. Moore,, J. Novak, “Game Industry Career Guide”, Delmar: Cengage Learning. p. 7, 2010.

[15] O. HALAÇ, “Doğrusal Olmayan Stok ve Üretim Planlama Modelleri”, İstanbul

Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi,
Sayı: 11, Sayfa: 123-133, 1982.

[16] P. McDowell, R. Darken, J. Sullivan, E. Johnson, "Delta3D: a complete open source game and simulation engine for building military training systems". The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology 3: 143, 2006.

[17] R. Baer, "Videogames: In the Beginning", Rolenta Press, 2005.

[18] S. Arnold (2006-05-11). "TA Spring Interview". Rebell.at., (Retrieved 28 April 2011).

[19] U. Tuğtekin, D. Kaleci "3D Modelleme Tekniği Kullanılarak Bilgisayar Oyunu Tasarımı", XIII. Akademik Bilişim, Malatya, 2011.