

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

WEB TABANLI GERÇEK ZAMANLI
EKLENTİSİZ SANAL SINIF UYGULAMASI

Kadir EROL

Şubat 2016

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Kadir EROL tarafından hazırlanan WEB TABANLI GERÇEK ZAMANLI EKLENTİSİZ SANAL SINIF UYGULAMASI adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduđumu ve tezin Yüksek Lisans Tezi olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiđini onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Atilla ERGÜZEN
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Halil Murat ÜNVER _____
Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Atilla ERGÜZEN _____
Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Erdal TÜMER _____

25/02/2016

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

WEB TABANLI GERÇEK ZAMANLI EKLENTİSİZ SANAL SINIF UYGULAMASI

EROL, Kadir

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Atilla ERGÜZEN

Şubat 2016, 70 sayfa

Sanal sınıf, bilinen örgün eğitimin aksine eğitmen ve katılımcıların farklı mekânlarda, mevcut bilgisayar teknolojileri vasıtasıyla internet üzerinden çevrimiçi olarak, belirlenen zamanda bir araya gelerek gerçekleşen eğitim sistemine verilen addır. Uygulamada, web tarayıcısı üzerinden ses, video ve veri iletişimine olanak sağlayan WebRTC (Web-based real time communication) açık kaynak API'leri kullanılmıştır.

Sanal sınıf sistemlerini de içine alan uzaktan eğitim sistemlerinin, zaman ve mekândan bağımsızlığı, fırsat eşitliği, öğrenene kadar ders üzerinde çalışabilme gibi birçok avantajlarının yanında bazı sorunlarda ortaya çıkmaktadır. Bunlardan bazıları; eğitmen ve katılımcılar arasında etkileşim eksikliği, eğitimin gerçekleşmesi için ek uygulamalar kurulması veya standart uygulamalardan faydalanılsa bile eklenti ve benzeri kurulumların yapılması gerekliliği ve gelişen teknoloji ile artan mobil cihaz kullanımını destekleyecek uygulamaların sınırlı olması bunlardan en önemlilerindedir.

Bu çalışmanın amacı, yukarıda anılan eksikliklerin mümkün olduğunca giderilerek eğitimin daha etkin bir şekilde yapılmasıdır. Öğrenci merkezlik, öğrencinin eğitimi her koşulda alabilmesi ve eğitimin olabildiğince verimli olması ana hedefdir. Temelde; eklentisiz, kullanıcıların ek bir uygulama kurmasına gerek kalmadan,

sadece modern web tarayıcılarından faydalanarak (Google Chrome, Mozilla Firefox, Opera), platform bağımsız ve mobil cihazlarında kullanılabilirdiği bir sanal sınıf ortamı oluşturmak hedef alınmıştır.

Geliştirilen bu uygulamada; internet bağlantısının olduğu her yerden hiçbir ek yazılıma gerek duyulmadan platform bağımsız modern web tarayıcıları kullanarak tek bir HTML5 sayfası ile kesintisiz anlık sesli ve görüntülü sohbet, mesajlaşma, doküman sunumu ve beyaz tahta uygulaması kullanıcılara sunulmuştur. Uygulamada sunulan bu fonksiyonlar ile eğiticinin katılımcılar ile ve katılımcının bireysel olarak eğiticiyle etkileşiminin artırılması hedeflenmiştir. Sanal Ders uygulamasında, sanal sınıf ortamlarının getirdiği etkileşim eksikliği, öğrencinin çevrimdışı takip ettiği derslerde sorularına karşılık bulmada yaşayabildiği zorluklar, uygulama için eklenti ve benzeri program kurulumu ihtiyaçları, platform ve sistem bağımlılığı gibi dezavantajların giderilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca uygulama mobil cihazlar ile de uyumlu bir şekilde kullanılabilir. Ayrıca uygulama mobil cihazlar ile de uyumlu bir şekilde kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Web tabanlı gerçek zamanlı veri aktarımı, WebRTC, Sanal Sınıf, Mobil, HTML5.

ABSTRACT

WEB-BASED REAL TIME PLUG-IN-FREE VIRTUAL CLASSROOM APPLICATION

EROL, Kadir

Kırıkkale University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department of Computer Engineering, M.Sc. Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Atilla ERGÜZEN

February 2015, 70 pages

Virtual classroom, contrary to known formal education, is the name given to the education system occurring between the instructor and participants in different places and defined time with the help of current computer Technologies, online internet connection. Open source WebRTC APIs providing voice, video and data communication over web browser were used in this application.

Besides most of distance education systems', containing virtual classroom, advantages like independent of time and place, opportunity equality, the chance of practicing until to learn, there are some problems with these systems. Some important of them are lock of communication between the instructor and participants, need of installing new applications to carry out the training or the necessity of installing new plug-ins or similar applications even if standards application are used and limited applications supporting mobile device usage with developing technologies.

The aim of this study is to provide more effective education by diminishing the impairments mentioned above. The fundamental goals of the study are student-centeredness, available training for the students in every circumstances and providing a functional education at maximum level. Basically, it is intended to compose on independent platform and useable with mobile devices virtual classroom

environment by only using modern web browsers (Google Chrome, Mozilla Firefox, Opera); without any plug-ins and the necessity of installing additional applications.

With this application, the users leave the chance of continuous instant voiced and visual chat, messaging, document presentation and white board application in any internet connection available place, without any additional software by using platform independent modern web browsers with only a HTML5 page. The purpose of these functions, is to increase the communication between the participants and instructor; the individual participant and intended to prevent such as lock of interaction caused by virtual classroom environment, the students' difficulties in getting answers to their questions during their off line courses, the needs of installing new plug-ins for the application and similar programs, and addiction to the platform or system. It's also possible to use the application with mobile devices.

Key Words: Web Base Real-Time Communication, WebRTC, Virtual Classroom, Mobile, HTML5.

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımını esirgemeyen öğrencilerine büyük destek olan, bilimsel deney imkânlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Atilla ERGÜZEN'e, tez çalışmalarım esnasında çok büyük fedakârlıklarla bana destek olan eşim Elif ve oğlum Ahmet Ege'ye teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	I
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ.....	10
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
2.1. WebRTC(Web Base Real Time Connection).....	15
2.1.1. Mimari.....	16
2.1.2. Sinyalleşme	17
2.1.3. Temel API'ler.....	20
2.1.4. Güvenlik.....	25
2.1.5. Güvenlikte Dikkate Alınacak Hususlar.....	26
2.1.6. Gerçek Zamanlı Transfer İçin Basit Bir Örnek.....	27
2.1.7. Neden WebRTC	29
2.2. MongoDB	30
2.3. NodeJS	32
2.4. PDFJS	34
3. UYGULAMA	35
3.1. Uygulamaya Giriş	35
3.2. Kullanıcı Daveti, Ayarlar ve Dersten Çıkış Menüleri	39
3.3. Mesajlaşma, Sunum ve Etkileşim Alanları.....	42
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR	51
EKLER.....	57
EK-1 Eğitici Ekranı HTML Kodu.....	57
EK-2 Katılımcılar İçin Yazılan Script.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Sanal Ders Uygulaması Mimarisine Genel Bakış	12
2.1. WebRTC Peer-to-Peer mimarisi	17
2.2. WebRTC Video ve Ses Mekanizması	18
2.3. Eşler Arası Sinyalleşme	19
2.4. WebRTC İstek ve Cevap için STUN Çağrı Akışı	20
2.5. NAT ve Firewallsuz Bir Dünya	21
2.6. Gerçek İletim Ortamı	22
2.7. WebRTC Protokol Yığını	22
2.8. Video ve Sesin SRTP ile UDP Üzerinden Teslimi	24
2.9. Eşler Arası Genişletilmiş İletişim Şeması	25
2.10. Çağrı Başlatan (Ayşe) Bakış Açısıyla Çevrim Kurulumu	28
2.11. Eşler arası İstek-Cevap SDP değişimi	29
2.12. İnternet Video Trafiği Analizi	30
2.13. MongoDB İle Örnek Bir Kayıt Gösterimi	32
3.1. Giriş Ekranı	35
3.2. Kullanıcı Girişi	36
3.3. Şifre ile Katılımcı Girişi	37
3.4. Farklı Tarayıcılarda Kamera ve Mikrofon Kullanım İzni Sorgusu	37
3.5. Eğitici Penceresi	39
3.6. Sunum Alanı, Kullanıcı Daveti, Ayarlar ve Dersten Çıkış Menüleri	40
3.7. Katılımcı Davet Penceresi	40
3.8. Örnek Davet Elektronik Postası	41
3.9. Katılımcının Derse Girişi İçin İzin Verilmesi	42
3.10. Katılımcı Listesi	43
3.11. Katılımcı Etkileşim Menüsü	43

3.12.	Doküman Sunum Alanı	45
3.13.	Beyaz Tahta Sunum Alanı	46
3.14.	Ders Özelleştirme ve Ayar Penceresi	47
3.15.	Ders Ayarlarını Kaydetme	47
3.16.	Çıkış Öncesi Ders Ayarlarının Kaydedilmesi	48



KISALTMALAR DİZİNİ

AES	Advanced Encryption Standard
API	Application Programming Interface
DTLS	Datagram Transport Layer Security
HTML5	HTML İşaretleme Standardının Beşinci Sürümü
ICE	Interactive Connectivity Establishment
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol Address
iLBC	Internet Low Bitrate Codec
iSAC	Internet Speech Audio Codec
JSEP	Javascript Session Establishment Protocol
JSON	Javascript Object Notation
NAT	Network Address Translation
P2P	Peer to Peer
PDF	Portable Document Format
RTC	Real Time Communication
RTCP	RTP Control Protocol
SDES	Source Description RTCP Packet
SDP	Session Description Protocol
SIP	Session Initiation Protocol
SRTP	Secure Realtime Transport Protocol
STUN	Session Traversal Utilities for NAT
TURN	Traversal Using Relay NAT
UDP	User Datagram Protocol
W3C	World Wide Web Consortium
WEBRTC	Web Tabanlı Gerçek Zamanlı Veri Transferi Altyapısı
XML	Extensible Markup Language
XMPP	Extensible Messaging and Presence Protocol

1. GİRİŞ

Sanal sınıf, bilinen örgün eğitimin aksine eğitmen ve katılımcıların farklı mekânlarda, mevcut bilgisayar teknolojileri vasıtasıyla internet üzerinden çevrimiçi olarak, belirlenen zamanda bir araya gelerek gerçekleşen eğitim sistemine verilen addır. Sanal sınıf uygulamalarında eğitmenin ses ve görüntüsü katılımcılara iletilmekte ve genellikle de katılımcıların derse iştiraki ve etkileşimlerinin artırılması için anlık mesajlaşma uygulamaları, dosya paylaşımı ve sunum alanları gibi ek uygulamalar da sanal sınıf uygulamalarında bulunmaktadır [1,2].

Amerika, İngiltere, Çin, ülkemiz vb. birçok ülkede saygın üniversiteler başta olmak üzere eğitim kurumları uzaktan eğitimdeki ders devamsızlığı sorununu sanal sınıf uygulamaları vasıtasıyla gidermiş böylece eğitimin eğitmen kontrolünde daha verimli, hızlı ve özgür bir şekilde gerçekleşmesi sağlanmıştır.

Eğitim faaliyetlerinde çok önemli bir yeri olan sanal sınıf uygulamaları, eğitim kurumları dışında birçok firma, ürün tanıtımı, kurum içi eğitim, danışmanlık ve destek gibi sayısız alanda kullanılmaktadır. Sanal sınıf uygulamaları ayrıca simülasyon, web konferans, tanıtım ve seminer, laboratuvar uygulamaları, çevrimiçi danışmanlık ve müşteri temsilciliği gibi bir çok alanda da kullanılabilir. Bu nedenle genelde sanal sınıf uygulamaları ücretli ya da kurumların kendi personelinin istifadesine açıktır [3].

Sanal sınıf uygulamalarının getirdiği önemli avantajların bazılarını şöyle sıralayabiliriz;

- Öğrenci merkezlidir,
- Zaman ve mekândan bağımsızdır,
- Coğrafi ve bölgesel engelleri kaldırır,
- Eğitimde fırsat eşitliği sağlar,
- Fiziksel engelliler için eğitim olanağı sağlar,
- Yaşam boyu öğrenmenin yolunu açar,
- Görsel ve işitsel materyallerle daha fazla etkileşim sağlar,

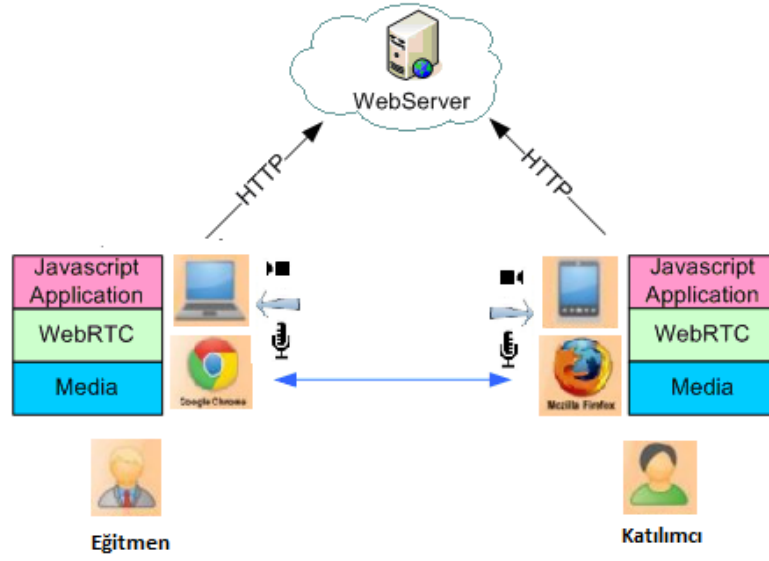
- Örgün eğitimde gereken ulaşım, konaklama, beslenme ve barınma gibi ek harcamaları ortadan kaldırır,
- Öğrencilerin internet erişimi olan her yerde eğitim almalarına olanak sağlar [4-6].

Ayrıca eğitim kurumları tarafından kullanılan uzaktan eğitim uygulamalarıyla eğitim, dersin eğitmen tarafından kaydedilmesi ve kaydın katılımcı tarafından istenen yer ve zamanda izlenmesi şeklinde verilebilmektedir. Eğitmen ders anlatımını desteklemek için çeşitli içerik ve materyaller (sunum, test, anket, interaktif içerikler, vb.) ile dersi katılımcıya aktarmaya çalışmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, yukarıda anılan eksikliklerin mümkün olduğunca giderilerek eğitimin daha etkin bir şekilde yapılmasıdır. Öğrenci merkezlik, öğrencinin eğitimi her koşulda alabilmesi ve eğitimin olabildiğince verimli olması ana hedeftir. Temelde; eklentisiz, kullanıcıların ek bir uygulama kurmasına gerek kalmadan, sadece modern web tarayıcılarından faydalanarak, platform bağımsız ve mobil cihazlarında kullanılabildiği bir sanal sınıf ortamı oluşturmak hedef alınmıştır.

Geliştirilen uygulama ile kullanıcılar mobil veya kişisel bilgisayarlarını kullanarak, hiçbir ek uygulama yüklemeyen modern web tarayıcıları üzerinden web sunucusu üzerinde bulunan uygulama yardımıyla hazırlanan Sanal Ders uygulamasına girerek uygulamayı kullanabilmektedirler.

Sanal Ders uygulaması; internet üzerinden, bireyin zaman, mekân, sınırı olmadan diğer katılımcılar ile eş zamanlı ve etkileşimli olarak öğrenmesini hedefleyen bir sanal sınıf uygulamasıdır. Şekil 1.1’de Sanal Ders uygulaması mimarisine genel bakış verilmiştir.



Şekil 1.1. Sanal Ders Uygulaması Mimarisine Genel Bakış

Uygulamanın konseptini destekleyen mevcut çalışmalara bakacak olursak; 1991 yılında Deshpande [7]; uzaktan eğitim sistemi için beyaz tahta ve video sistemini içeren interaktif gerçek zamanlı uzaktan eğitim sistemi hakkındaki çalışmasını sunmuştur.

Sankar [8] yaptığı çalışmada, geliştirdiği sınıf içi video konferans uygulamasını telekomünikasyon yönetimi yüksek lisans programında öğrenim gören öğrencilerin eğitimini desteklemek ve proje gelişimlerini takip etmek amacıyla kullandığından bahsetmiştir.

1997 yılında; Byoung Oh [9] yaptığı çalışmada, işbirliğini temel alan ve uygulamaya dayalı bir sistemden söz etmektedir. Yapılan çalışmada; tek bir kullanıcının izin verdiği farklı bölgelerdeki katılımcılar ile bir bilgisayar üzerinde çalıştırılan uygulamanın ortak paylaşımının yapılabildiği bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Surachai [10] yaptığı uygulama ile uzaktan eğitim için iki yönlü iletişim ile gerçek zamanlı sınıf sisteminden bahsetmiştir.

Buasri [5] 2014 yılında yaptığı çalışmada ise katılımcıların video konferans sistemi ile derslere iştirak edebildiği, beyaz tahta uygulaması ve sınav sisteminin bulunduğu bir çalışmadan bahsetmiştir. Ayrıca uygulamada gerçek zamanlı görüntü iletişimde WebRTC Api'lerinden faydalanılmıştır.

Buasri [5] tarafından yapılan çalışmada sınav sisteminin bulunması işlenen dersin ne düzeyde öğrenildiğinin test edilmesi açısından önemlidir. Ancak; sistemde web konferans temelli bir yapının kullanılmasının yani tüm medyanın bütün eşler arasında iletilmesinin, bant genişliği ve internet hızının düşük olduğu ortamlarda sorun oluşturacağı değerlendirilmektedir. Buna ek olarak eğiticinin ders anlatımını zenginleştirecek doküman sunumu ve benzeri bir fonksiyonun olmaması da bir eksiklik olarak görülmüştür.

Geliştirilen bu uygulamada; internet bağlantısının olduğu her yerden hiçbir ek yazılıma gerek duyulmadan platform bağımsız modern web tarayıcıları kullanarak kesintisiz anlık sesli ve görüntülü sohbet, mesajlaşma, doküman sunumu ve beyaz tahta uygulaması kullanıcılara sunulmuştur. Uygulamada sunulan bu fonksiyonlar ile eğiticinin katılımcılar ile ve katılımcının bireysel olarak eğiticisiyle etkileşiminin artırılması hedeflenmiştir. Sanal Ders uygulamasında, sanal sınıf ortamlarının getirdiği etkileşim eksikliği, öğrencinin çevrimdışı takip ettiği derslerde sorularına karşılık bulmada yaşayabildiği zorluklar, uygulama için eklenti ve benzeri program kurulumu ihtiyaçları, platform ve sistem bağımlılığı gibi dezavantajların giderilmeye çalışılmıştır. Ayrıca uygulama mobil cihazlar ile de uyumlu bir şekilde kullanılabilir.

Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan materyal ve yöntemler bahsedilmiştir. Bu bölüm altında çalışmayı oluşturan en önemli bileşenlerden, WebRTC, MongoDB, NodeJS ve PdfJS'den bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, geliştirilen uygulamanın ana bölüm, menü ve fonksiyonlarına yer verilmiştir. Uygulamanın ana pencereleri;

- Öğretmen ve öğrenci etkileşimini arttırmak için gerçek zamanlı ses ve görüntü aktarım pencereleri,

- Katılımcı listesi,
- Özel veya genel anlık mesajlaşma ekranı,
- Doküman paylaşımı alanı,
- Beyaz tahta uygulama alanı,
- Katılımcı daveti ekranı,
- Ayarlar menüsü,
- Ders kayıt ve çıkış ekranıdır.

Dördüncü bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir. Bu bölüm altında uygulamanın sonuçları incelenmekte olup, çalışmanın literatüre katkısı ve geleceğe yönelik çalışmalarla ilgili önerilere yer verilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Uygulamanın geliştirilmesi esnasında çeşitli açık kaynak arayüzler (Framework) ve uygulamalardan faydalanılmıştır. Bu bölümde kullanılan arayüzler ve uygulamalardan bazıları ile önemli ana bileşenlerden bahsedilecektir. Bu arayüzler için geliştirilen script ve kodlamaların bir kısmı Ekler bölümünde sunulmuştur.

2.1. WebRTC (Web Base Real Time Communication)

WebRTC (Web-based real time communication) web tarayıcısı üzerinden ses, video ve veri iletişimine olanak sağlayan açık kaynak iletişim projesidir. Gerçek zamanlı iletişimin sağlanması için genellikle üretici özel geliştirilmiş sinyal işleme teknolojileri, bu teknolojiler için tasarlanmış donanım ve özel eklentiler gerekmektedir. Bu zorunluluğu ortadan kaldırmak amacıyla Google, Mozilla ve Opera kullanıcıdan kullanıcıya (P2P) gerçek zamanlı iletişim sağlamak için WebRTC adında basit JavaScript API'ler tarafından erişilebilen bir W3C (World Wide Web Consortium) standardı geliştirmişlerdir [11,12].

Web Real-Time Communication (WebRTC), Web tarayıcıları arası noktadan noktaya gerçek zamanlı iletişimi mümkün kılmayı hedefleyen bir standart olmak üzeredir. Şu an büyük bir hızla gelişen web üzerinde gerçek zamanlı iletişimin etkinleştirilmesi için temelde iki internet standardizasyon grubu çalışmaktadır. WebRTC'yi şuan Internet Engineering Task Force (IETF) [13] ve World Wide Web Consortium (W3C) [14] grupları desteklemektedir [15].

Bu alandaki standardizasyon çalışmalarında W3C uygulama programlama arayüzü (API) ana bileşen olarak tanımlanmıştır. Bu API herhangi bir cihaz üzerinde çalışabilen uçtan uca güvenli giriş çıkış birimlerine (web kamerası ve mikrofon gibi) erişebilen tarayıcılar arası gerçek zamanlı medya gönderip alabilen bir web uygulaması sağlamayı hedeflemektedir.

WebRTC gurubu; tarayıcılar, betik diller, medya aygıtları (mikrofon, web kamera), görüntü işleme cihazları (encoders/decoders) ve iletişim fonksiyonları ile etkileşim sağlayan bir API'yi tanımlamaya çalışmaktadır. Bu tip çalışmalar HTML5'in halen desteklediği sunucu ve istemciler arasında multimedya içerik akışı standartlarını geliştirmekte ve daha da büyütmetedir [16].

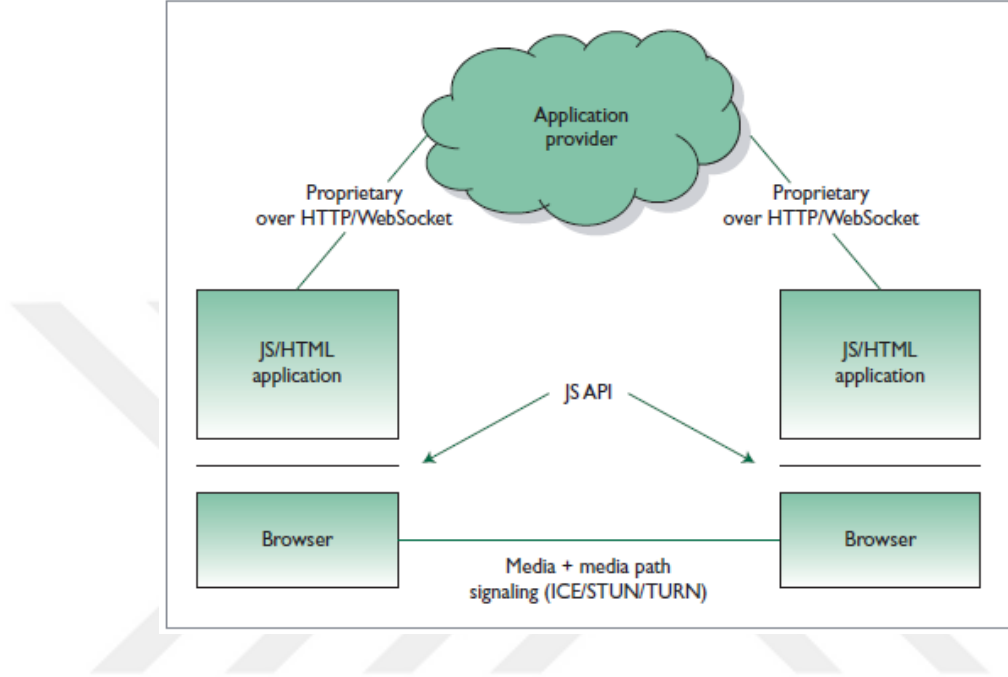
Platform ve cihaz bağımsız olması, web tabanlı iletişim kurulmasına imkân vermesi, Chrome, Firefox ve Opera tarafından desteklenen açık kaynak kodlu bir proje oluşu, ücretsiz ses ve görüntü kodeklerine sahip olması ve az sayıda javaScript komutu ile uygulama geliştirmeye olanak sağlaması WebRTC'yi diğer iletişim teknolojilerinden ayıran temel özelliklerdendir. WebRTC teknolojisiyle medyanın paylaşılması için geliştirilecek uygulamalar, WebRTC'yi destekleyen web tarayıcıları üzerinde çalışacak web uygulamaları yada doğrudan WebRTC kütüphanesini kullanan doğal uygulamalar şeklinde olabilir. Şuan, masaüstü işletim sistemlerinde (Microsoft Windows, Linux ve MacOS) ve mobil cihazlarda android işletim sistemlerinde kullanılan Chrome, Firefox ve Opera tarayıcılarında WebRTC desteği bulunmaktadır. WebRTC şuan için Internet Explorer tarafından henüz desteklenmemektedir. [16-18].

2.1.1. Mimari

Gerçek zamanlı iletişim (RTC) mimarisinde tarayıcıdan tarayıcıya medya yolu arasında herhangi bir sunucu olmaksızın direk bir iletişim bulunmaktadır (Bkz. Şekil 2.1).

Sinyalleşme yolu; farklı sinyalleşme ihtiyaçları, sinyalleşmenin yönetim ihtiyacı veya yolda değişiklik yapma ihtiyacı olması gibi durumlarda sunucular üzerinden gerçekleşebilir. Temelde yatan fikir web tarayıcıları üzerinden WebRTC API'si vasıtasıyla karşılıklı, etkileşimli, istemci taraflı web uygulamaları geliştirmektir (genelde HTML ve JavaScript tabanlı). Bir WebRTC uygulaması için temelde bir davet çağrısı yapan (isteği gönderen) bir de çağrıya cevap veren taraf bulunmaktadır. Gerçek zamanlı iletişimde, internet üzerinde aracısız ve yönlendiricisiz iki veya daha

fazla tarayıcı arasındaki gerçek zamanlı ve sürekli veri akışını hedeflenmektedir. Peer-to-peer (P2P) yapısına izin veren devrim niteliğindeki web tabanlı gerçek zamanlı iletişim fikri bu nedenle tarayıcıdan tarayıcıya (browser to browser) iletişim olarak anılmaktadır [16,19].

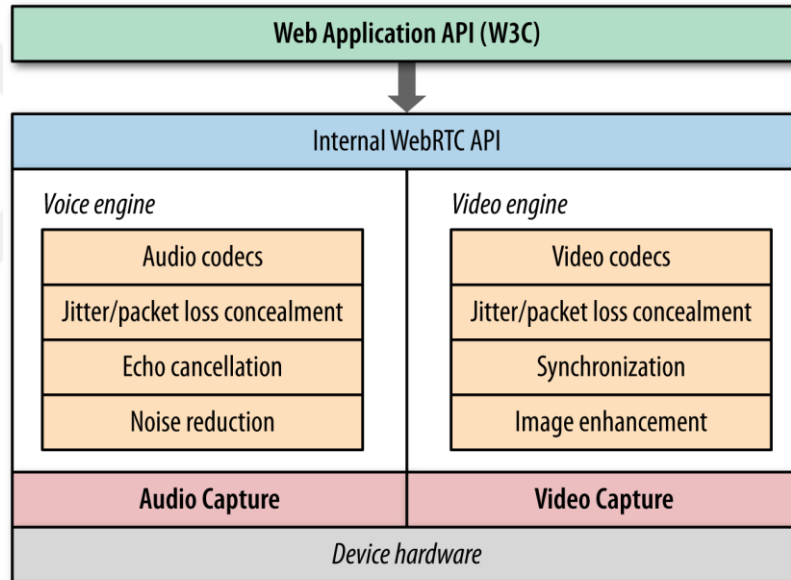


Şekil 2.1. WebRTC Peer-to-Peer mimarisi [16]

2.1.2. Sinyalleşme

WebRTC, tam özellikli ses ve video mekanizmaları sunmaktadır (Bkz. Şekil 2.2). Video mekanizmasında VP8 kodeği kullanılmaktadır. VP8 kodeği bir video sıkıştırma formatıdır. VP8, On2 Technologies tarafından Eylül 2008'de geliştirilmiş ve şu an Chrome, Mozilla ve Opera tarafından desteklenmektedir. Ses mekanizması için ise iSAC ve iLBC kodekleri kullanılmaktadır. iSAC kodeği Global IP Solutions tarafından geliştirilmiş bir geniş bant ses kodeğidir. Bu kodek ses akışları için elverişli olduğu için Haziran 2011'de WebRTC teknolojisinin bir parçası haline gelmiştir. Yine Global IP Solutions tarafından geliştirilen iLBC kodeği ise dar bant için uygun bir ses kodeğidir ve IP üzerinden ses iletişimi için elverişlidir [20].

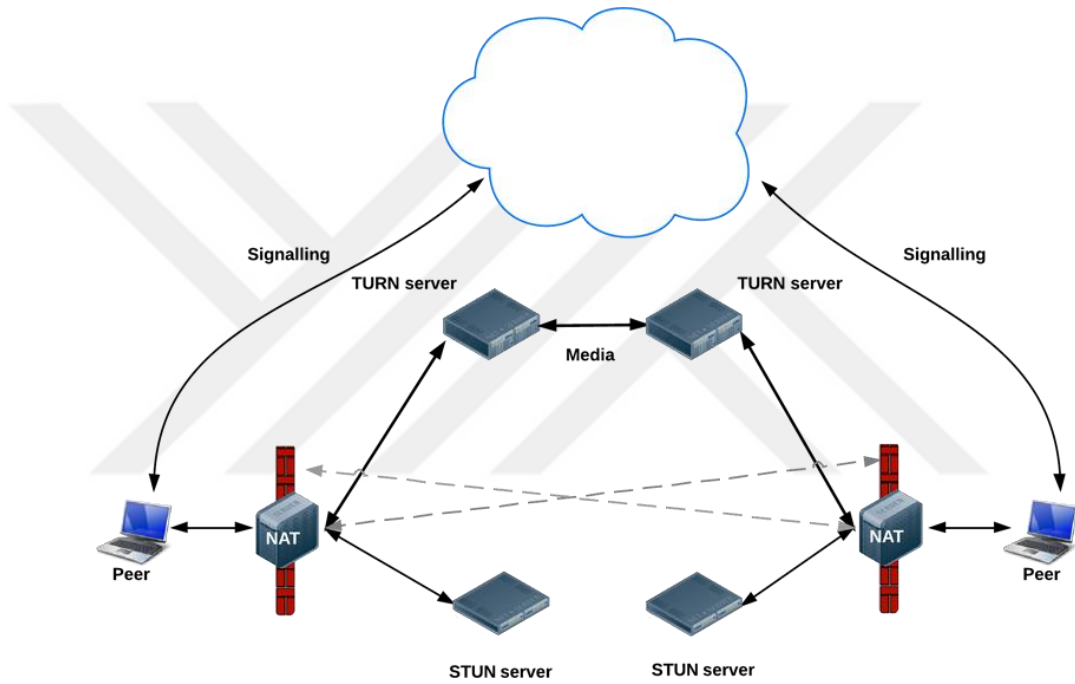
Uygulama geliştiriciler, video ve sesin yakalanması, işlenmesi ve alıcı tarafında yapılacak benzer işlemler ile gönderim sırasında oluşacak kayıpların giderilmesi gibi problemlerle uğraşmak yerine tamamen medyanın taşınması üzerine odaklanmaktadır. Uygulama geliştiriciler sinyalleşmenin nasıl yapılacağına karar verirler. WebRTC'nin tasarımındaki bu ana fikir ile sinyalleşme katmanını olabildiğince uygulama katmanı tarafından kontrol edilebilecek şekilde dizayn ederek, geliştiricinin medya akışına yoğunlaşması sağlanmış ve akışın nasıl kontrol edileceğini tam olarak belirtilmiştir. Bunun gerekçesi farklı uygulamaların farklı standartlarda sinyalleşme protokolü (örnek olarak SIP, XMPP) hatta özel sinyalleşme protokolleri kullanabilecek olmalarıdır [21].



Şekil 2.2. WebRTC Video ve Ses Mekanizması [16]

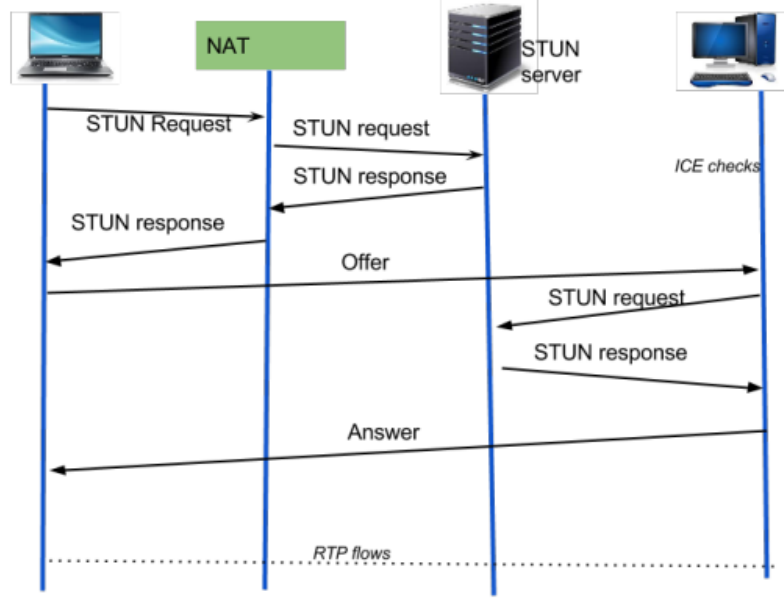
İnternete çıkan cihazların birbirleri ile haberleşmeleri için gerçek IP adreslerine ihtiyaç vardır. Bu sorun WebRTC'de STUN (Session Traversal Utilities for NAT), TURN (Traversal Using Relay NAT) sunucuları ve ICE (Interactive Connectivity Establishment) [22] arayüzleri (Framework) tarafından çözülmektedir. Sinyalleşmenin tamamlanması için STUN'a ihtiyaç vardır. Bir cihazın gerçek

internet adresi ve port numarası STUN sunucusuna bağlanılarak öğrenilebilir. TURN sunucusu ise, eşler arası iletişim güvenlik duvarı ve diğer kısıtlar tarafından engellendiğinde veya beklenmedik bir hata sonucunda haberleşmenin tamamen kendi üzerinden akmasını sağlar. STUN ve TURN kullanarak haberleşmeyi sağlayan protokole de ICE denilmektedir. Sinyalleşme sonucunda veri haberleşmesi eşler arasında veya TURN sunucusu üzerinden olmaktadır [23]. TURN ve STUN sunucuları üzerinden eşler arasında sinyalleşme ve medya akışı şeması Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Eşler Arası Sinyalleşme [23]

Bu yaklaşımda önemli olan, tarayıcıların multimedia oturum tanımlarını değiş tokuş etmek zorunda olmalarıdır. Bu tanımların içerisinde aktarım bilgisi (Interactive Connectivity Establishment (ICE)), medya tipi, formatı ve medya yolunu belirlemek için gerekli olan bütün yapı bilgileri bulunur. Şekil 2.4'te STUN çağrı akışı şeması verilmiştir [24].



Şekil 2.5. WebRTC İstek ve Cevap için STUN Çağrı Akışı

Uygulamalarda değiş tokuş için Session Description Protocol'nün (SDP) kullanımını bazı sorunları çözümediği için IETF tarafından, Javascript Session Establishment Protocol (JSEP)'ü standardize edilmiştir. JSEP yaklaşımı sinyalleşmeyi tamamen uygulamaya bırakırken, Interactive Connectivity Establishment (ICE) arayüzünü kullanarak yerel ve uzak oturum tanımlarının iletimini ve eşlerin etkileşime girmeleri için bir yol sağlamaktadır [25].

2.1.3. Temel API'ler

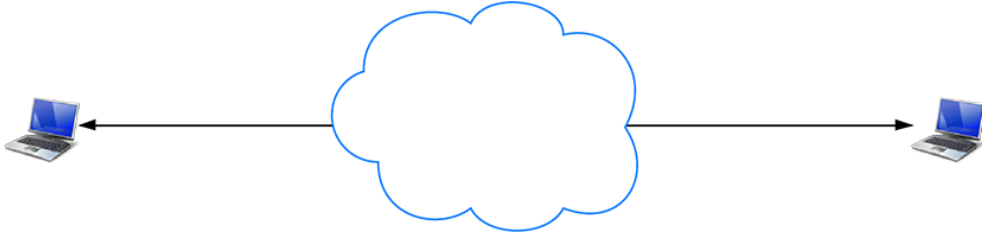
WebRTC medyayı giriş birimlerinden (kamera, mikrofon) alıp iletmek için temel olarak şu API'leri kullanır:

- **MediaStream:** Kullanıcının kamera ve mikrofonundan medyaya erişir,
- **RTCPeerConnection:** sesli veya görüntülü aramalarda güvenli medya akışını ve bant genişliğini yönetmeye olanak sağlar ,
- **RTCDataChannel:** kullanıcıdan kullanıcıya veri haberleşmesine olanak sağlar [26].

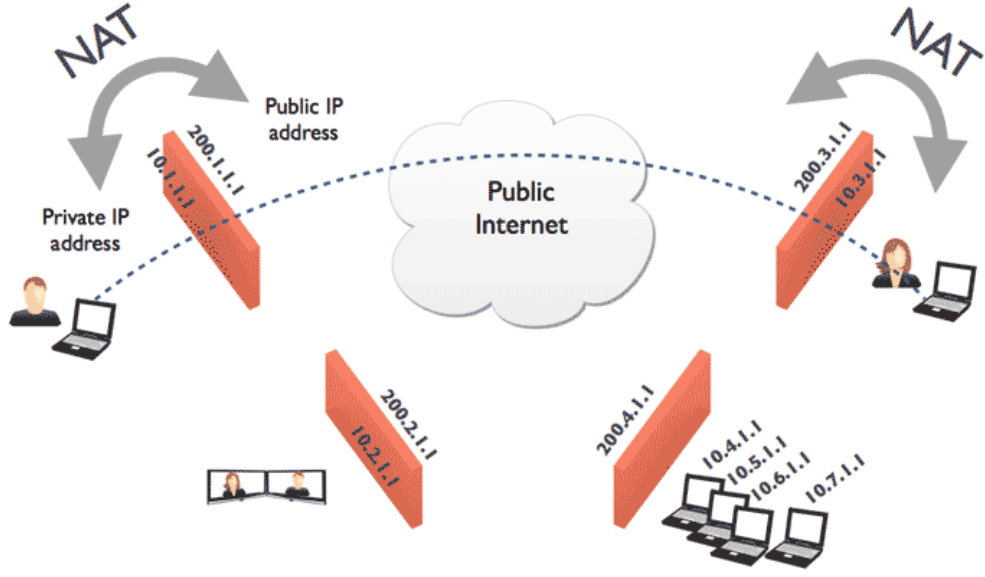
2.1.3.1. PeerConnection

PeerConnection iki kullanıcının tarayıcıdan tarayıcıya direkt olarak iletişim kurmasını sağlar. PeerConnection uzaktaki bir eş ile bir ilişki oluşturur, bu eş genellikle aynı JavaScript uygulamasının uzak uçta çalışan farklı bir oluşumudur. İletişim Web sunucu kullanılarak sayfadaki script kodu tarafından sağlanan sinyalleşme kanalları sayesinde düzenlenir (WebSocket, XMLHttpRequest vb.). Çağırılan tarayıcı eş bağlantısını sağladığı zaman, uzak tarayıcıya direkt olarak MediaStream nesnelerini gönderebilir.

Basit bir ağ üzerinde her WebRTC kullanıcısı tekil bir adrese sahip olsa, birbirleriyle direk iletişime geçebilirlerdi (Bkz. Şekil 2.5). Ancak gerçek dünyada IP tabanlı cihazlar genelde internete gerçek IP adresleri ile çıkmazlar. Cihazlar çeşitli NAT katmanlarının, firewallların, bazı anti virüs programların engellediği port ve protokollerinin ve proxylerin arkasında çalışmaktadır. Şekil 2.6'da gerçek iletişim ortamı resmedilmektedir. Gerçek dünyada ki bu karmaşıklığı aşmak için WebRTC uygulamaları Interactive Connectivity Establishment (ICE) [22] ara yüzünü kullanmaktadır. ICE cihazların birbirleri ile iletişime geçebilmeleri için en iyi yolu bulmaya çalışmaktadır.

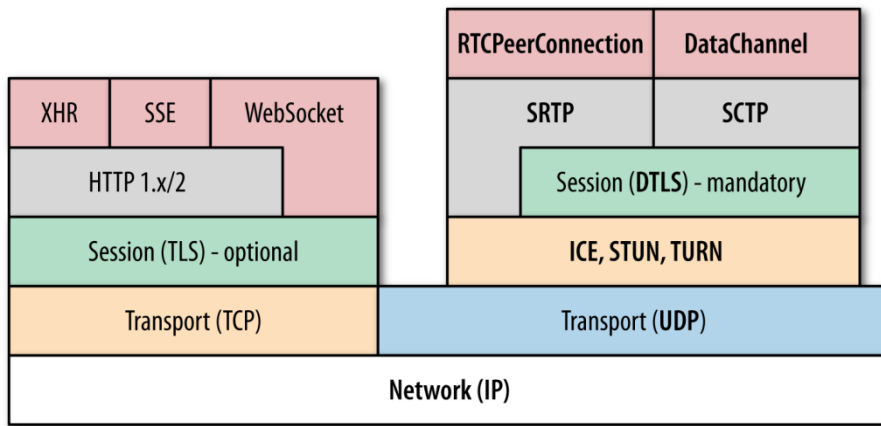


Şekil 2.6. NAT ve Firewallsuz Bir Dünya



Şekil 2.7. Gerçek İletim Ortamı

İletişim kurmak isteyen kullanıcı iletişim başlatacağı eşlerin gerçek internet adres ve port numaralarını öğrenmek için STUN/TURN [27] sunucuları kullanır. Elde edilen IP ve PORT bilgilerini hedef kullanıcılara iletir. Hedef kullanıcı, iletişimi başlatan kullanıcıya bu bilgilerini kullanarak ulaşır. Ayrıca, ICE bağlantı kontrol mesajları belirli aralıklarla NAT cihazlarında bağlantının aktif tutulmasını sağlamak amacıyla hedef kullanıcıya gönderilir.



Şekil 2.8. WebRTC Protokol Yığını

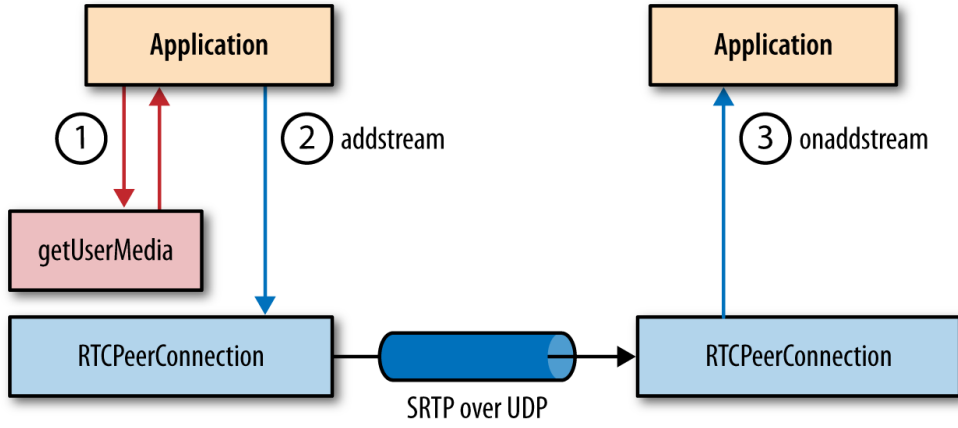
Şekil 2.7’de görüldüğü üzere, eş bağlantı mekanizması UDP tabanlı medya akışlarının NAT katmanlarını ve firewalldarı aşabilmesini sağlamak için ICE protokolünü STUN ve TURN sunucuları ile birlikte kullanmaktadır. ICE, tarayıcıların kullanılabilirliği en iyi olan iletişim yolunu bulmak için ağların topolojisi hakkında bilgi elde edilmesine olanak sağlar. Ayrıca ICE kullanmak bir güvenlik önlemdir çünkü ICE güvenilmeyen ve veri gelmesi beklemeyen web sayfalarından ve uygulamalardan istemcilere veri gönderilmesini engeller [28].

2.1.3.2. MediaStream

Bir MediaStream’i ses yâda video’nun veri akışından oluşan soyut bir gösterim şeklidir. Medya akışındaki akışın içeriğini göstermek, akışı kaydetmek ya da akışı uzaktaki eşe göndermek gibi eylemleri yönetebilmek için kullanılır. Bir MediaStream uzaktaki bir düğümden gelen (uzaktaki akış) ya da düğüme gönderilecek (yerel akış) bir akış olacak şekilde genişletilebilir. Yerel MediaStream’i yerel bir medya yakalama cihazı ile yakalanmış bir medya akışını temsil eder (mikrofon, web kamera).

LocalMediaStream’i oluşturmak ve kullanmak için Web uygulaması kullanıcıdan getUserMedia() fonksiyonunu kullanarak erişim hakkı istemelidir. Uygulama erişim istediği medya türünü (ses, video) belirler. Tarayıcı ara yüzündeki cihaz seçicisi, erişime izin verir ya da reddeder. Uygulama sonlandığı zaman LocalMediaStream’deki stop() fonksiyonunu çağırarak kendi erişim hakkını iptal edebilir.

Medya uzayında sinyalleşme, eşler arasında bant dışı gerçekleştirilir. Şekil 2.7’de medya iletişimi için gerekli olan protokol yığını gösterilmektedir. Secure Realtime Transport Protocol (SRTP) medya verisini taşır ve RTP Control Protocol (RTCP) veri akışlarıyla ilgili iletişim istatistiklerini gözlemek amacıyla kullanılır. Datagram Transport Layer Security (DTLS), SRTP anahtarı olarak, birleşme yönetiminde kullanılır. Şekil 2.8’de medyanın UDP üzerinde teslimi şematik olarak gösterilmiştir.



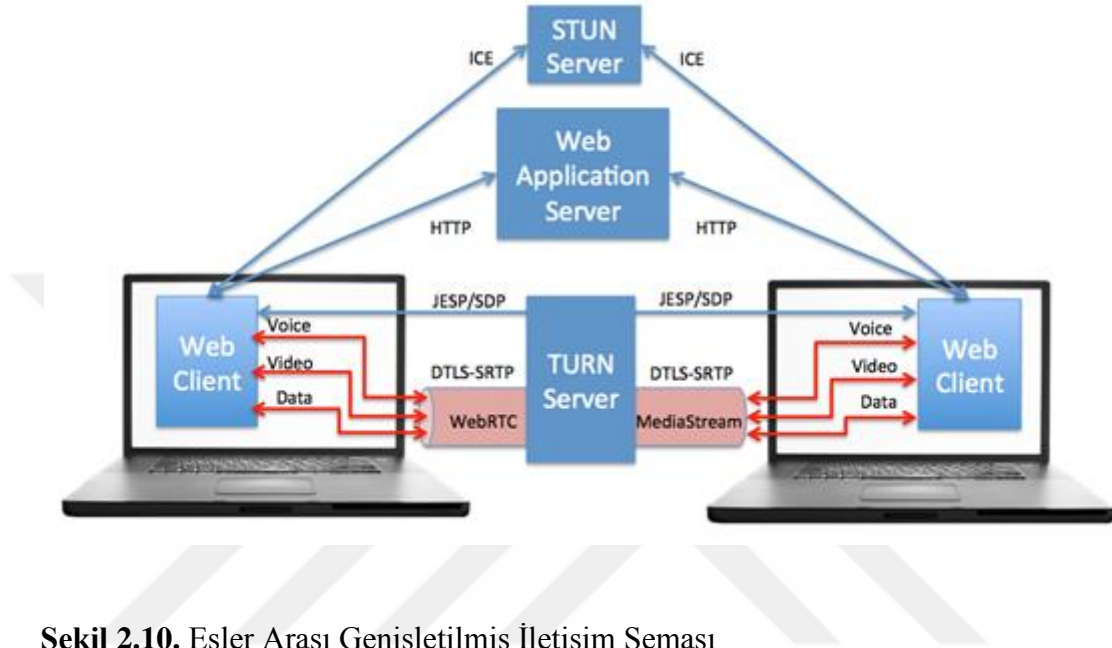
Şekil 2.9. Video ve Sesin SRTP ile UDP Üzerinden Teslimi

Bir multimedya oturumunda her ortam genellikle ayrı bir RTP oturumunda kendi RTCP paketleri ile taşınır. Her akış için yeni bir soket açma problemini çözmek için IETF, RTP tabanlı gerçek zamanlı uygulamaların çoklu medya trafiğini bir RTP oturumunda birleştirerek taşıma katmanındaki port sayısını düşürme üzerinde çalışmaktadır [29].

2.1.3.3. DataChannel

DataChannel, eşten eşe olacak şekilde Web tarayıcılara çift yönlü veri alma ve verme imkânı veren genel bir taşıma servisi sağlar. IETF içinde standardizasyon çabaları bu konu hakkında ortak bir kaniya ulaşmıştır. Bu kaniya göre DTLS'in içinde sarmalanmış Stream Control Transmission Protocol (SCTP)'in medya dışındaki veri tiplerini kontrol etmesi gerekir. SCTP üstüne DTLS, DTLS üstüne ICE, ICE üstüne UDP sarmalamak NAT çapraz geçişi ile birlikte kaynak doğrulaması, gizlilik ve bütünlük korumalı aktarım sağlamaktadır (Bkz. Şekil 2.7). Ayrıca bu çözüm düzgün veri transferi ile birden çok paralel medya transferinin uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlar ve ikisi de aynı taşıma katmanı port numarasını kullanabilir [28].

Bir uygulama sıralı ya da sırasız bir mesaj dizisi gönderebilir. Mesaj teslim emri sadece aynı akış üzerinden gönderilen sıralı mesajlara mahsustur. Ancak DataChannel API'si çift yönlüdür bu yüzden her DataChannel demeti aslında ya gelen ya da giden bir SCTP akışıdır.



Somutlaştırılmış bir PeerConnection objesi için ilk olarak ne zaman CreateDataChannel() çağrılırsa uygulama o zaman bir veri kanalı (SCTP birlikteliğini oluşturur) oluşturur. CreateDataChannel()'a yapılacak sonraki çağrılar sadece var olan SCTP birlikteliği içinde yeni bir kanal oluşturur [30]. Şekil 2.9'da eşler arasındaki haberleşme yapısının genişletilmiş şeması gösterilmiştir.

2.1.4. Güvenlik

Ses ve görüntü datasının (medya) güvenliğinin sağlanması için sinyalleşmenin güvenliğinin sağlanması önemlidir. Medya, ağda SRTP vasıtasıyla UDP paketleri üzerinde eşlere iletilmektedir. Paketler AES (Advanced Encryption Standard) 128 bit şifreleme anahtarı ile şifrelenmekte ve şifrelemede 80 bitlik bir yetkilendirme etiketi

kullanılmaktadır. Anahtarın güvenli şekilde ešlere iletilmesi için ise Datagram Transport Layer Security (DTLS) [31] yada Source Description RTCP Packet (SDES) [32] metotları kullanılmaktadır.

Source Description RTCP Packet (SDES) metodunda anahtar doğrudan sinyalleşme kanalı üzerinden gönderilmektedir. Datagram Transport Layer Security (DTLS) metodunda, medya portlardan sertifika gönderilirken, sinyalleşme kanalından üretilen sertifikanın parmak izi gönderilir. Sinyalleşme kanalından gelen parmak izi ile medya kanalından gelen sertifikanın uyumlu olması halinde SRTP şifrelemesi için üretilen anahtar eş ile paylaşılır.

Gerçek zamanlı ses, video ve veri aktarımlarında paket kayıpların yaşanması olağandır. Paket kayıplarına bağlı olarak ses ve görüntüde problemler yaşanabilir. Bu sorunu çözmek için Real Time Transport Protocol (RTCP)-based feedback (RTCP/AVPF) [33] ile kayıp paket bilgisinin/bilgilerinin ve paket kayıp oranlarının gönderen tarafa iletilmesi ile kayıp oranının düşürülmesi ve mümkünse kayıp paketin/paketlerin tekrar oluşturularak yerine konması sağlanır. Ayrıca ileriye doğru hata kontrol mekanizmaları da alternatif olarak kullanılabilir [17].

2.1.5. Güvenlikte Dikkate Alınacak Hususlar

WebRTC teknolojisiyle web tarayıcıların, sunucu taraflı çok az bir müdahale ile direkt olarak haberleşmesine imkân sağlanmaktadır. Direkt olarak tarayıcıdan tarayıcıya haberleşmeye izin verdiğimiz zaman bazı potansiyel güvenlik tehditleri ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı WebRTC yaklaşımı ve ilgili mimari ile telekomünikasyon dünyasında zorlu bir görev daha ortaya çıkıyor. O da güven ve güvenilirlik.

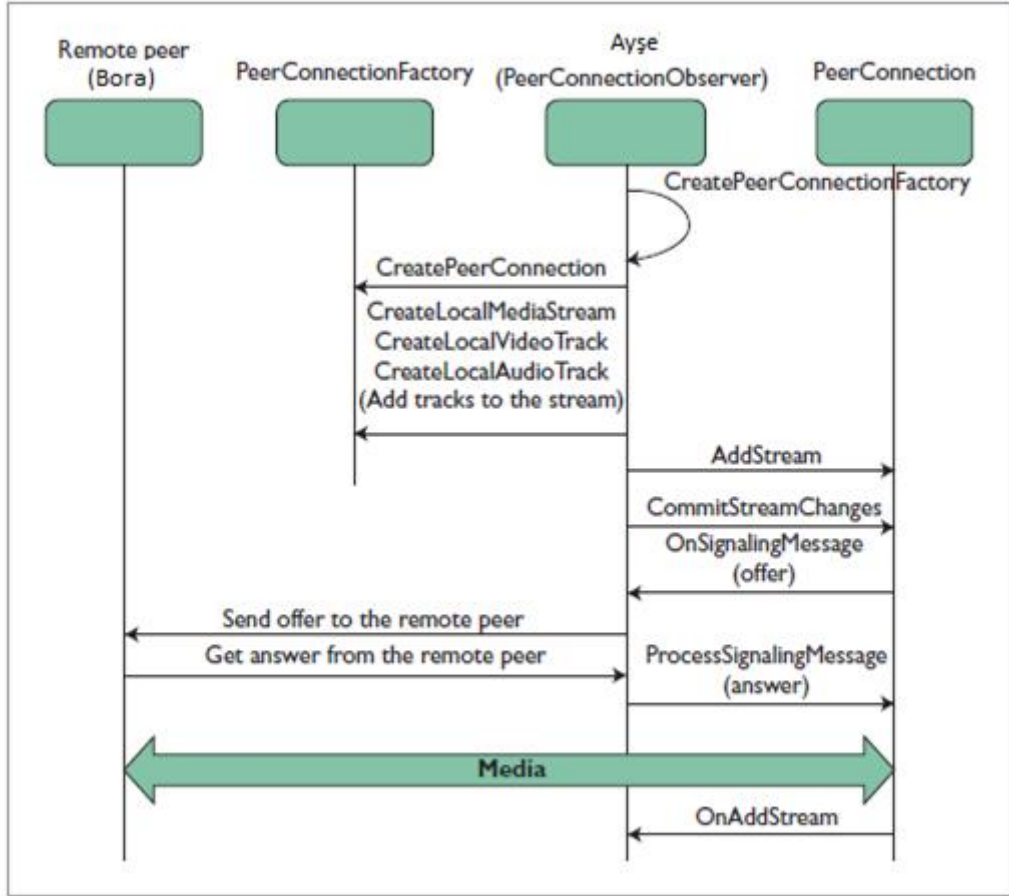
Her şeyden önce iki uç nokta arasında direkt haberleşme sağlayan diğer aė protokollerinde (SIP gibi) olduğu gibi haberleşme güvenliğini göz önünde bulundurulmalıdır. İkinci olarak eğer tarayıcıların birbirleri ile direkt olarak haberleşmesine izin verilecekse, gerçek veri değişimi safhası başlamadan

kullanıcıdan izin isteyen mekanizmalar oluşturulmalıdır. İzin doğrulaması güvenli sunucunun olup olmasına bağlı olmamalıdır ve potansiyel eş ile haberleşme başlatma amacıyla tarayıcı tarafından uygulanmalıdır. Önemli noktalardan bir tanesi de hedef eşler ile çoklu medya araması yapmadan önce yerel ses, video cihazlarına ulaşılması daha uygun olacaktır.

Ayrıca şu an kullanılmakta olan genel Web güvenlik politikası izolasyon (sandboxing olarak bilinir) prensibine dayanmaktadır. Bu politika kullanıcıların bilgisayarlarını, kötü amaçlı scriptlerden ve siteler arası içerik referanslarından korumasını sağlamaktadır. Bir dizi algoritma ile zararlı yazılım barındırdığı düşünülen veya ortaya konan sitelerin arama sayfalarında arka sıralara itilmesi de bu prensibe dayanır.

2.1.6. Gerçek Zamanlı Transfer İçin Basit Bir Örnek

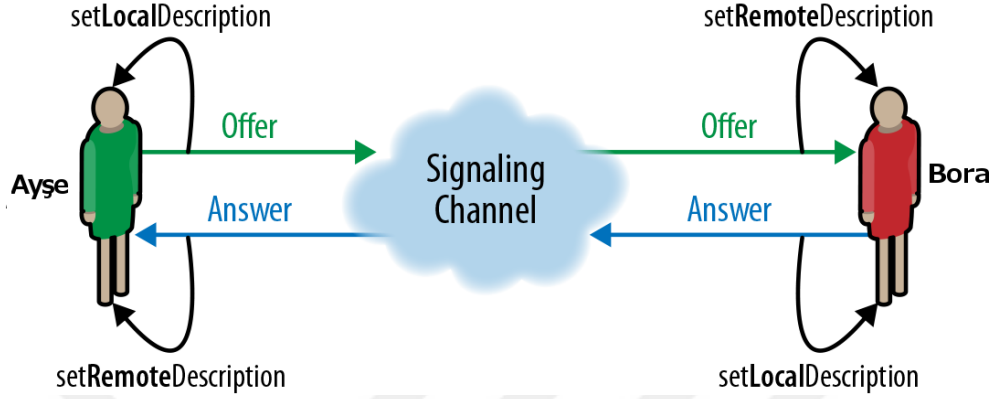
Ayşe ve Bora ortak arama servisini kullanıyorlar. İletişim kurabilmek için o servisi uygulayan Web sunucuya aynı anda bağlı olmaları gerekmektedir. Şekil 2.10 gerçek zamanlı, tarayıcı ile etkileşimde olan iletişim kanalının nasıl kurulduğunu gösteren çağrı akışını göstermektedir. Ayşe, Bora ile bir çağrı başlatmak için web sayfası butonuna tıkladığı zaman, JavaScript PeerConnection nesnesini somutlaştırır. PeerConnection oluşturulduktan sonra çağrıyı yapan servis tarafındaki JavaScript kodu MediaStream fonksiyonunu kullanarak medyayı hazırlamaya başlar. Ayşe aynı zamanda çağırılan servise kamera ve mikrofonuna ulaşım için izin vermelidir.



Şekil 2.11. Çağrı Başlatan (Ayşe) Bakış Açısıyla Çevrim Kurulumu

Ayşe'in tarayıcısı birkaç akış ekledikten sonra JavaScript kodu ile zenginleştirilmiş bir sinyalleşme mesajı üretir. Bu mesaj, medya kanalı bilgisi, ICE adayları ve iletişimi Ayşe'nin public anahtarına bağlayan parmak izi gibi bir niteleyici içermelidir. Daha sonra Ayşe'nin tarayıcısı bu mesajı sinyalleşme sunucusuna gönderir (XMLHttpRequest yada WebSocket kullanarak). Sinyalleşme sunucusu Ayşe'nin tarayıcısından gelen mesajı işler, bunun Bora'ya olan bir çağrı olduğuna karar verir ve Bora'nın tarayıcısına sinyalleşme mesajı gönderir. Bora'nın tarayıcısındaki JavaScript gelen mesajı işler ve Bora'yı uyarır. Bora çağrıya cevap vermeye karar verirse, tarayıcıda çalışan JavaScript Ayşe'nin tarafından gelen mesaj ile ilgili bir PeerConnection'ı oluşturur. Daha sonra Ayşe'nin tarayıcısındaki benzer bir işlem gerçekleşir. Bora'nın tarayıcısı arayan servisin doğrulandığını onaylar ve medya akışları oluşturulur, sonrasında Bora'nın tarayıcısı medya bilgisi

ve ICE adaylarını içeren bir sinyalleşme mesajı üretir ve sinyalleşme servisini kullanarak Ayşe'ye bir parmak izi ile geri dönüş yapar.



Şekil 2.12. Eşler arası İstek-Cevap SDP değişimi

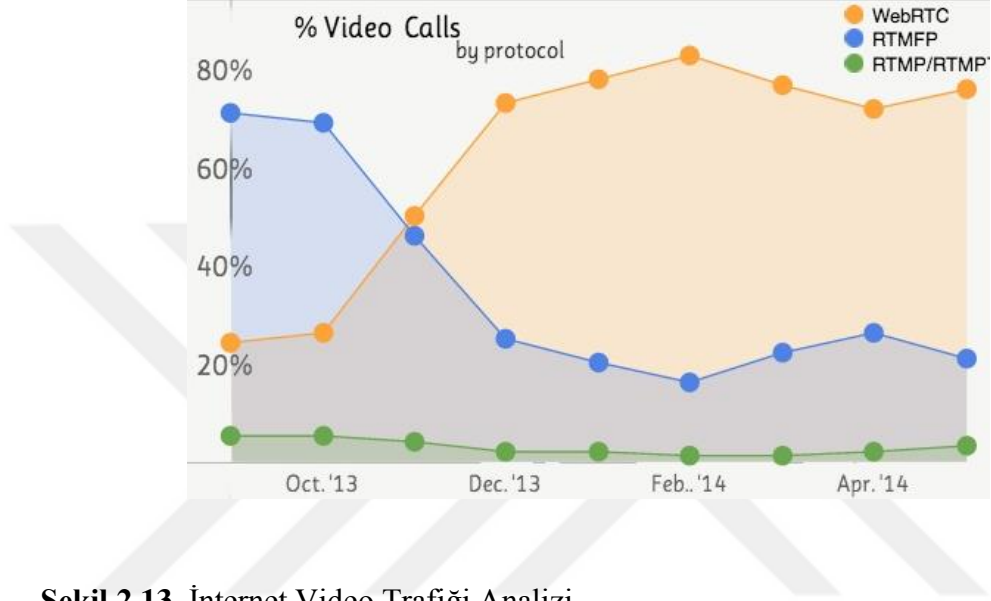
2.1.7. Neden WebRTC

Gelişen teknoloji, internetin hayatın vazgeçilmez bir unsuru haline gelişi, sosyal medyanın ve mobil uygulamaların artması, akıllı telefon ve tablet PC'lerin herkes tarafından kullanılmaya başlaması eğitiminde de zamana ayak uydurma zorunluluğuna neden olmaktadır.

Öğretmen ve katılımcıların belirlenen zamanda istenen yer ve cihazla derse tek bir tıkla ulaşabilmesi WebRTC ile mümkün. Modern web tarayıcıları üzerinden herhangi bir ek yazılım veya plug-in gibi uygulamalara ihtiyaç olmadan sesli ve görüntülü iletişim kurabileceği bir ortam sağlanabiliyor. Sanal Ders uygulamasında mekâna ve cihaza bağlı kalmadan özgür bir ortam sağlanabilmektedir. Böylece hem eğitimde eşitlik hem de zaman ve para tasarrufu elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada; WebRTC teknolojisi kullanılarak tek bir HTML5 uygulaması ile farklı platform ve sistemler ile tarayıcılar üzerinden gerçek zamanlı sesli ve görsel iletişim sağlanarak sanal sınıf uygulaması yapılması hedeflenmiştir.

2014 yılında webrtcstats.com tarafından yapılan bir analize göre, internet video trafiğinin 2013 Mart ayında %16'sından fazlası WebRTC ile gerçekleşirken 2014 Mayıs ayı itibariyle %76'sından fazlası WebRTC tarafından gerçekleştirir hale gelmiştir [34].



Şekil 2.13. İnternet Video Trafiği Analizi

Uygulamada EaysRTC adında açık kaynak WebRTC aracı kullanılmıştır. EasyRTC çalışma grubu, WebRTC API'lerinin daha kararlı çalışması, kolay kullanım ve tarayıcı uygunluğu gibi konularını iyileştirilmesi için çalışmaktadır.

2.2. MongoDB

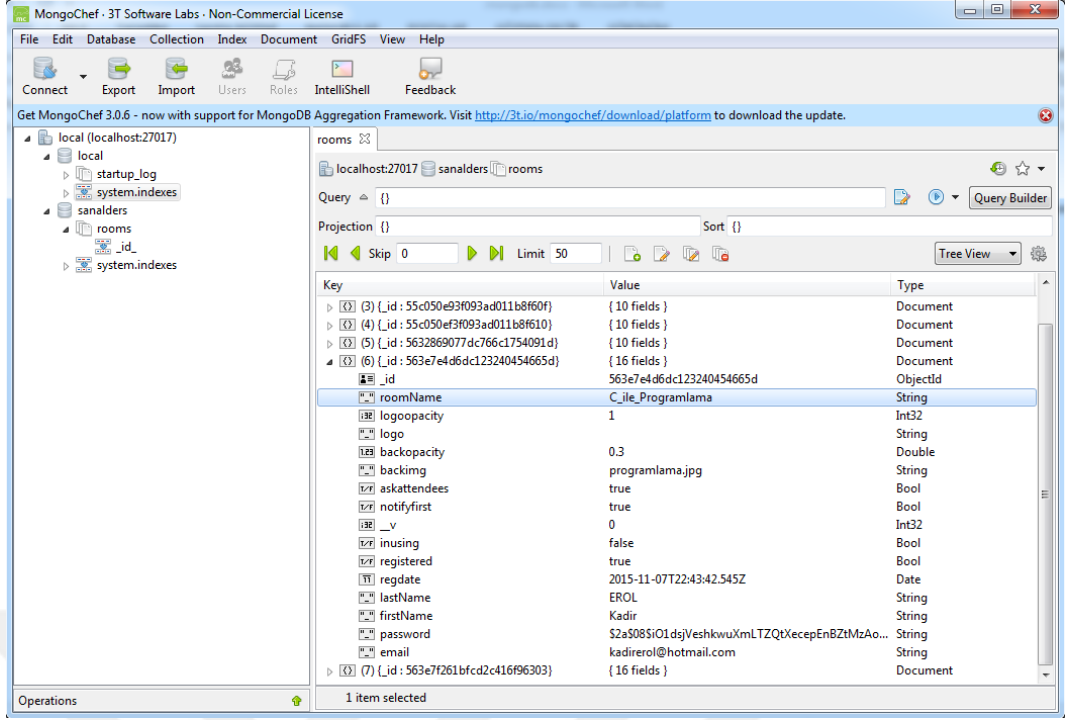
MongoDB açık kaynak, ölçeklenebilir ve doküman tabanlı bir NoSQL veri tabanı uygulamasıdır. NoSQL, ilişkisel veritabanı sistemlerine alternatif olarak ortaya çıkmıştır.

Gelişen teknolojiler ve internetin hızlanması ile birlikte, uygulamalarda çok sayıda kullanıcının aktif rol alması, birçok değişik ihtiyacın yanında veritabanı tasarımının da sıklıkla ihtiyaçlar doğrultusunda değiştirilmesi zorunluluğunu ortaya çıkardı. Genellikle kullandığımız ilişkisel veritabanlarındaki hiyerarşi sırasıyla, tabloların ve her tabloya ait sütunların oluşturulması daha sonra ise bilgilerin satır satır eklenmesi şeklindedir. Ancak burada ortaya çıkan sıkıntı, tanımı olmayan alanlara veri kaydetmektir. Bu problemin ortadan kaldırılması için öncelikle yapılması gereken, tabloyu tekrar ele alıp yeni sütunlar eklemek olacaktır. Ancak yapılan bu değişiklikler ile tüm tablo ve ilişkileri etkileyebilecek durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu değişikliklerin gerçekleştirilmesi sistemin neredeyse tekrardan tasarlanmasını bile gerektirebileceğinden zaman ve maliyet sorunları doğuracaktır.

Özetle İlişkisel Veritabanı Sistemlerinde tasarımın önceden çok iyi planlanması gerekmektedir. Ancak NoSQL veritabanı sistemlerinde, verinin kayıt altına alınması sırasında bu tip problemler maliyetin artmasına neden olmayacak veya tasarımın gözden geçirilmesini gerektirecek bir durumu doğurmayacaktır. Bunun nedeni ise NoSQL veritabanı sistemlerinde tablo ve sütun kavramının olmamasıdır. Yeni alanlara ihtiyaç duyulması durumunda kayıtların direk eklenmesi yeterli olacaktır. NoSQL veritabanı sistemi alanları otomatik olarak oluşturur ve verileri kaydeder. Probleme neden olan bu verilerin maliyetsiz kaydedilmesinin nedeni ise bilgilerin tablo ve sütunlarda değil de onun yerine JSON ve XML formatına benzer yapıda saklanmasıdır [35].

NoSQL sistemleri temelde 3 guruba ayrılır; Doküman (Document) tabanlı, Anahtar / Değer (Key / Value) tabanlı ve Grafik (Graph) tabanlı NoSQL sistemler. MongoDB doküman tabanlı NoSQL sistemleri içerisinde yer alır. Ayrıca; CouchDB, HBase, Cassandra ve Amazon SimpleDB de bu guruba örnek verilebilecek sistemlerdir.

MongoDB, Sanal Ders uygulamasında açılan derslerin bilgilerinin kaydedilmesi amacıyla kullanılmıştır. Açılan derse ait bilgiler, dersle ilgili ayar ve eğitmen bilgileri kaydedilmektedir. Açılan dersin sonunda dersten çık menüsünden dersin kaydedilerek çıkılması durumunda veritabanında kayda şifre, mail adresi, kayıt zamanı vb. bilgilerde eklenmektedir. Örnek bir kayıt Şekil 2.13’de verilmiştir.



Şekil 2.14. MongoDB İle Örnek Bir Kayıt Gösterimi

2.3. NodeJS

NodeJS; istemciler için sunucu tarafında çalışan, açık kaynaklı, javascript kodları ile sunucu gerçekleştirilmesine olanak sağlayan ve ağ bağlantılı uygulamalar için geliştirilmiş bir çalışma ortamıdır. NodeJS olay güdümlü (event driven), asenkron, ölçeklenebilir uygulamalar geliştirmek için tasarlanmış ve non-blocking I/O modeli kullanan bir platformdur. Bu özellikleri ile NodeJS yüksek performans gerektiren ve gerçek zamanlı web projeleri için tercih edilmektedir [36].

NodeJS platformunda klasik sunucularda kullanılan iş parçacığı mantığı yerine, her bir olayın sıraya atılarak işlenmesi söz konusudur. Ayrıca non-blocking I/O yapısının kullanılması sayesinde yüksek performanslı uygulamalar elde edilmektedir. Böylece; düşük özellikli sunucularda bile yüksek web istemini (web-request) karşılamamıza imkân sağlayabilmektedir. Bunlara ilave olarak; Javascript'in asenkron programlama yapısında çalışması da bu modele bire bir uyum sağlamaktadır.

NodeJS'i cazip yapan diğerk bir konu ise IIS, jboss gibi yüksek kaynak tüketen web sunucuların kullanılmasına gerek olmamasıdır. NodeJSde uygulama sunucusunu geliştirici kendisi yazmaktadır.

Birçok avantajının yanı sıra kodlama kolaylığı sayesinde popülerliği giderek artmış olan bu platform, milyonlara hitap eden ve dünya çapında popüler web uygulamalarının da dikkatinden kaçmamıştır. Bunlara örnek; LinkedIn [37] ve PayPal [38] verilebilir.

LinkedIn NodeJS 'e geçtikten sonra avantajlarını şöyle sıralıyor:

- Sunucu maliyeti düşüşü, (30 sunucudan 3 sunucuya),
- 20 kata varan işlem hızı artışı,
- Geliştiricilerin ortak dil üzerinden anlaşabiliyor olması.

PayPal ise; Java ve NodeJS olmak üzere 2 platformda paralel olarak yazılım geliştirmeye başlanmıştır. Java takımında toplam 5 kişilik bir ekip varken NodeJS tarafında sadece 2 kişilik bir ekip çalışmış, sonuçta ise NodeJS ile;

- Yaklaşık 2 katına çıkan geliştirme hızı,
- Proje için %33 oranında daha az satır kodlama,
- %40 oranında daha az dosya ile projenin geliştirilmesi sağlanmıştır.

Ayrıca yapılan performans karşılaştırmasında tek çekirdekli bir işlemci üzerinde çalışan NodeJS uygulamasının beş çekirdekli işlemci üzerinde çalışan java uygulamasına göre 2 kat fazla istemi (request per sec) karşılayabildiği görülmüştür. Diğerk bir taraftan ise cevap süresinde (response time) %35'lik bir artış tespit edilmiştir [36].

Sanal Ders uygulamasında gerçek zamanlı ve anlık işlemler için NodeJS kullanılarak bir sunucu geliştirilmiştir. Örneğin dersi açan eğitici ve katılımcılar arasındaki sinyalleşme, paylaşılan dokümanın sayfasının değiştirmesi veya beyaz tahta uygulamasında ekrandaki her bir değişikliğin katılımcılara iletilmesi, ders bilgilerinin veritabanına kaydedilmesi ve anlık mesajlaşma işlemleri gibi birçok işlem yazılan sunucu ile eğitici ve katılımcılar için geliştirilen scriptler tarafından gerçekleştirilmektedir. Sunucu kullanıcıların takibini, katılımcıların ses ve

görüntülerinin iletilmesini, anlık haberleşmelerini, öğretmen paylaşım ekranındaki tüm değişikliklerin diğer katılımcılara iletilmesini (doküman ve beyaz tahta uygulaması) yönetebilmektedir. Bu fonksiyon ve menüler uygulama bölümünde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.4. PDFJS

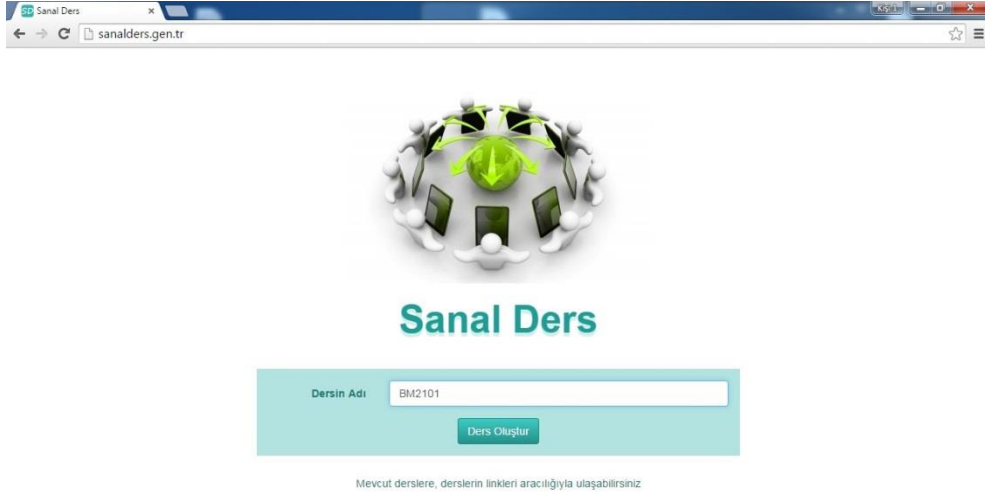
PdfJS PDF (Portable Document Format) dosyalarını web sayfalarında göstermek için tasarlanmış genel amaçlı, açık kaynak, HTML5 tabanlı bir JavaScript kütüphanesidir. PdfJS sayesinde pdf dosyaları işlenerek canvas üzerinde dokümanın gösterimi sağlanabilmektedir. Sanal Ders uygulamasında eğiticinin katılımcılara sunmak istediği dokümanın hem eğitimci hem de katılımcı ekranlarında sunulması için PdfJS kütüphanesi kullanılmıştır. Ayrıca eğitici ve katılımcı tarafında eğitici tarafındaki değişiklikleri katılımcılara anında yansıtacak scriptler kodlanarak etkileşimin artırılması hedeflenmiştir. Katılımcılar için yazılan script Ek-2’de sunulmuştur.

3. UYGULAMA

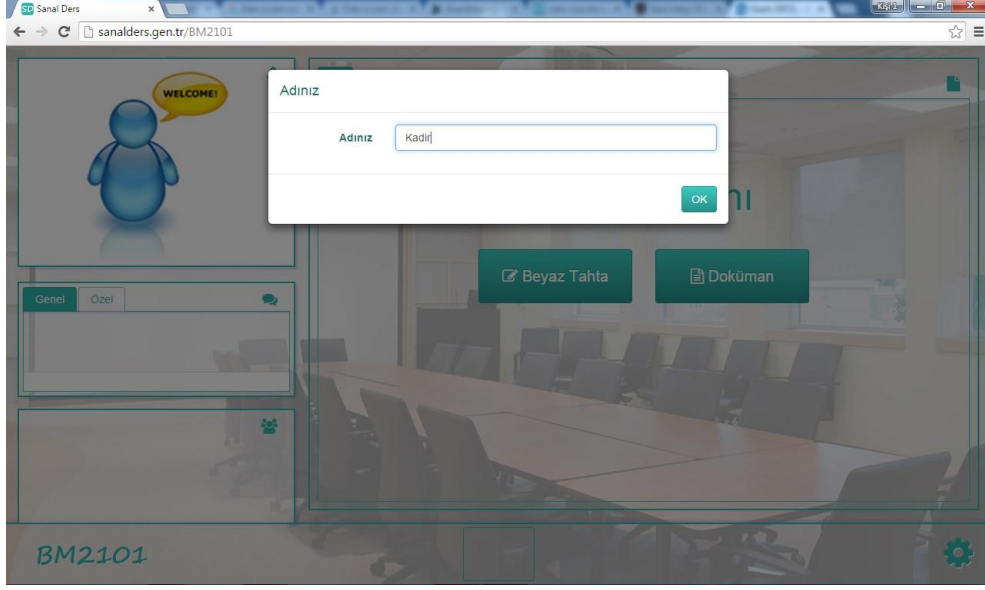
Bu bölümde Sanal Ders uygulamasının ana fonksiyon ve pencerelerinden bahsedilmiştir.

3.1. Uygulamaya Giriş

Eğitimci tarafından istenen ve katılımcılarında derse giriş esnasında kullanacakları ders ismi “Ders Adı” alanına girilerek ders oluştur butonu tıklanarak derse giriş yapılır (Bkz. Şekil 3.1). Şekil 3.2’de görüldüğü gibi derse giriş yapan katılımcıların göreceği eğitici ismi girildikten sonra kamera ve mikrofon kullanımı izni (Bkz. Şekil 3.4) verilip verilmeyeceği sorularak giriş tamamlanır. Daha önce açılmış ve kaydedilmiş dersler için derse açan tarafından bir şifre verilmiş ise giriş sırasında şifre ve kullanıcı adı birlikte girilecektir. Giriş birimlerinin kullanım izni sorgusu kullanılan tarayıcıya göre farklılık gösterse de temelde yapılan işlem aynıdır.



Şekil 3.1. Giriş Ekranı



Şekil 3.2. Kullanıcı Girişi

Belirlenen ders adında bir dersin bilgilerinin daha önceden kaydedilmiş olması veya o anda aynı isimli bir dersin işleniyor olması durumunda ders açma izni verilmeyecektir ve “Bu ders adı başkası tarafından kullanılmaktadır. Lütfen başka bir ders adı giriniz.” uyarısı kullanıcıya verilecektir. Kullanıcı tarafından daha önceden kaydedilen derslere, verilen giriş linki kullanılarak girilebilmektedir.

Dersin eğitici tarafından şifre korunarak kaydedilmiş olması durumunda katılımcının dersi girebilmesi için şifreyi bilmesi gerekmektedir. Eğitici şifreyi, ders davet elektronik postası veya diğer iletişim yollarıyla katılımcılara iletebilir. Derse girmek isteyen katılımcılar Şekil 3.3’de görünen pencere yardımıyla gerekli şifre ve kullanıcı adını girerek derse giriş isteğinde bulunurlar.

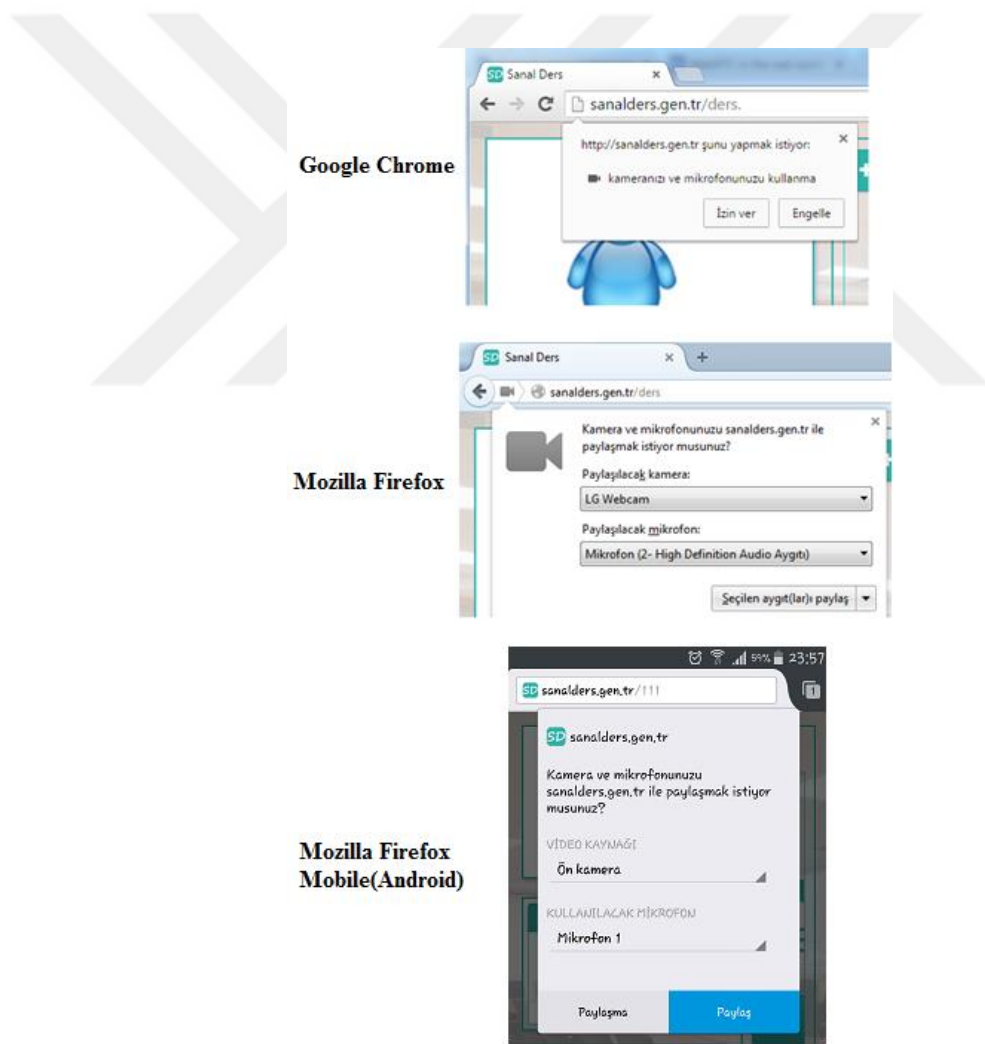
Adınız

Adınız Adınızı giriniz

Şifre Şifre

OK

Şekil 3.3. Şifre ile Katılımcı Girişi



Şekil 3.4. Farklı Tarayıcılarda Kamera ve Mikrofon Kullanım İzni Sorgusu

Hem eğitici hem de katılımcı pencerelerinde yerel video görüntüsü ekranın alt orta bölümünde, uzak vido görüntüsü ise sol üst bölümde görünecektir. Eğitici tarafından ders açılmasına müteakip izin verilmesi durumunda eğitici ekranında kendi görüntüsü ekranın alt orta bölümünde görünecektir. Sol üst bölümde derse giriş yapan son katılımcının veya eğiticinin sol alt bölümde bulunan katılımcılar listesinden seçeceği bir katılımcının görüntüsü görünecektir. Örnek pencere Şekil 3.5'te sunulmuştur.

Derse giriş yapan eğitmen ve katılımcıların ekran ve menüleri farklı olsa da temelde ana görünüm benzerdir. Farklılıkların nedeni katılımcıların sınırlı haklara sahip olmasındandır. Orta alanda eğiticinin ders esnasında kullanacağı materyalleri sunabileceği sunum ve beyaz tahta alanı mevcuttur. Bu alan katılımcılarda aktif değildir. Eğitmenin sunum alanını veya beyaz tahta uygulamasını kullanması durumunda bu alan aktif olacak eğitmenin kullandığı materyaller bu alanda görünecektir. Bu alanda eğitimci sunumlarını, dokümanlarını ve beyaz tahta üzerinde istediği sunumu sergileyebilmektedir.

Eğitimci veya katılımcı ekranlarındaki birçok alan ve pencere kullanıcı tarafından boyutları ayarlanacak şekilde hazırlanmıştır. Örneğin katılımcı sadece eğitmenin görüntüsünü görmek istiyorsa ekranı kapla (maximize) butonunu kullanabilir veya sunum alanının bilgisayar ekranında kaplayacağı alanı panel sınırlayıcılar aracılığıyla genişletip daraltabilecektir.

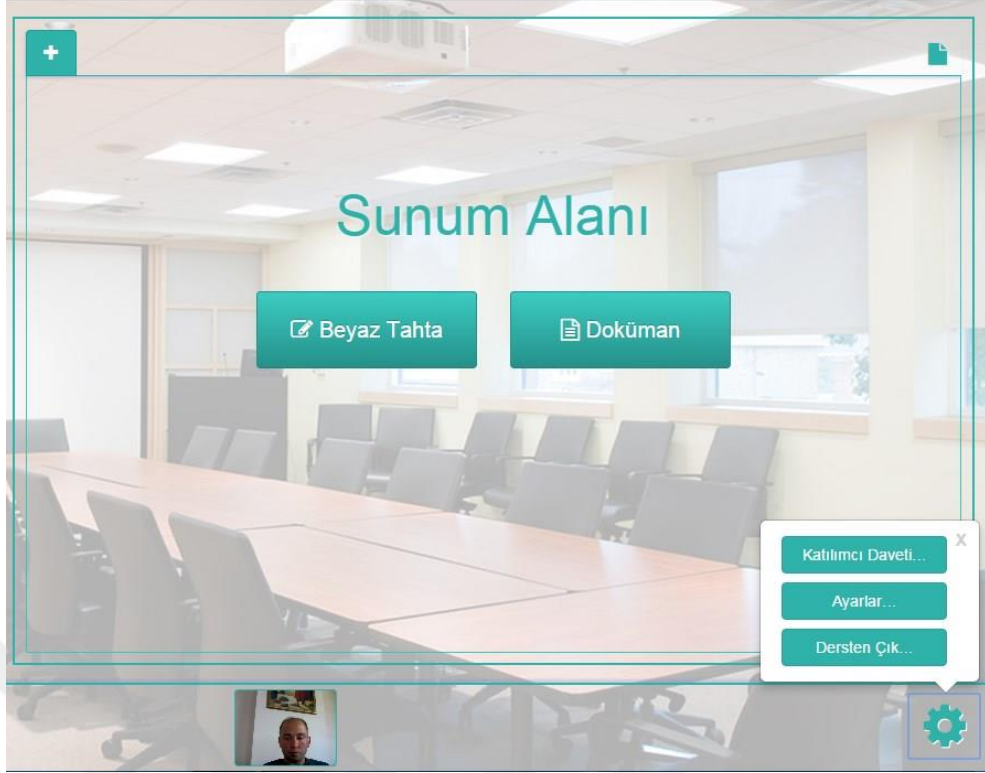


Şekil 3.5. Eğitici Penceresi

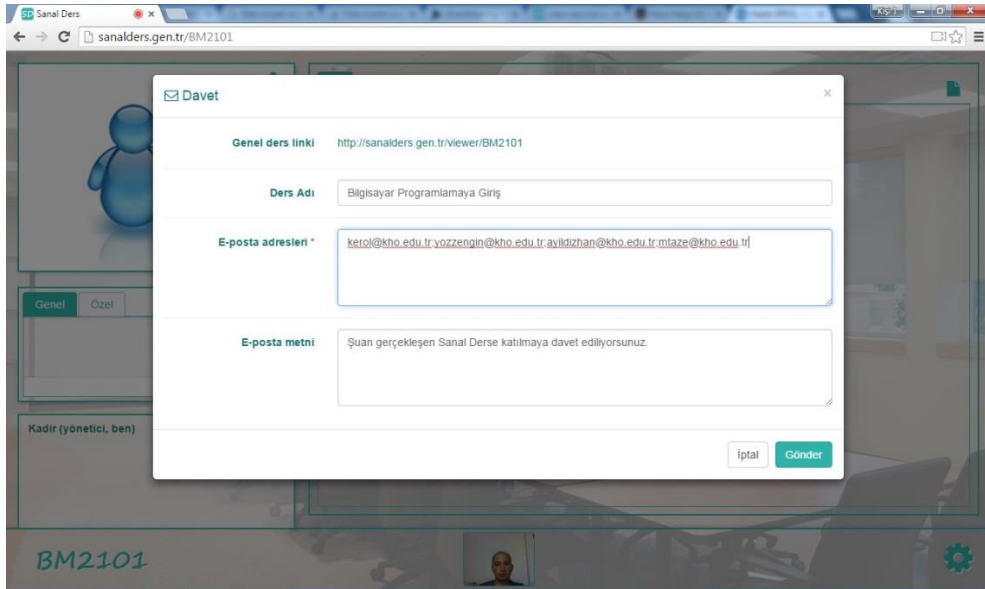
3.2. Kullanıcı Daveti, Ayarlar ve Dersten Çıkış Menüleri

Ders ile ilgili ayarlar, derse katılımcı daveti ve dersten çıkış işlemleri eğitici penceresinin sağ alt bölümde bulunan sekme vasıtasıyla yapılmaktadır (Bkz. Şekil 3.6).

Derse katılım eğiticinin, katılımcıları uygulama tarafından Şekil 3.7’da verilen örnekteki gibi elektronik posta ile davet edilmesi şeklinde olabileceği gibi, ders adını veya linkini bilen katılımcıların ders linkini kullanarak derse katılması şeklinde de olabilmektedir.

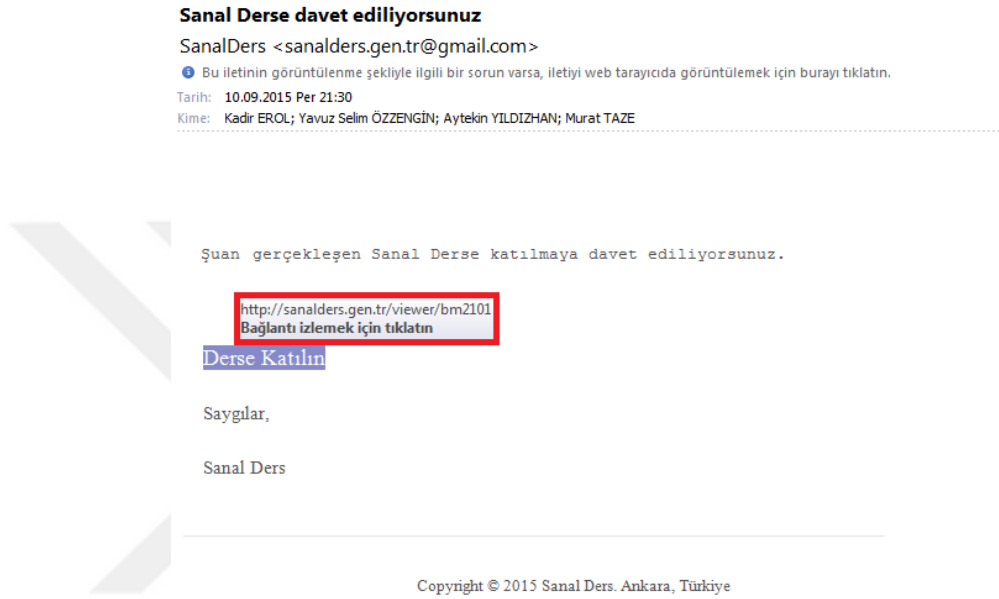


Şekil 3.6. Sunum Alanı, Kullanıcı Daveti, Ayarlar ve Dersten Çıkış Menüleri



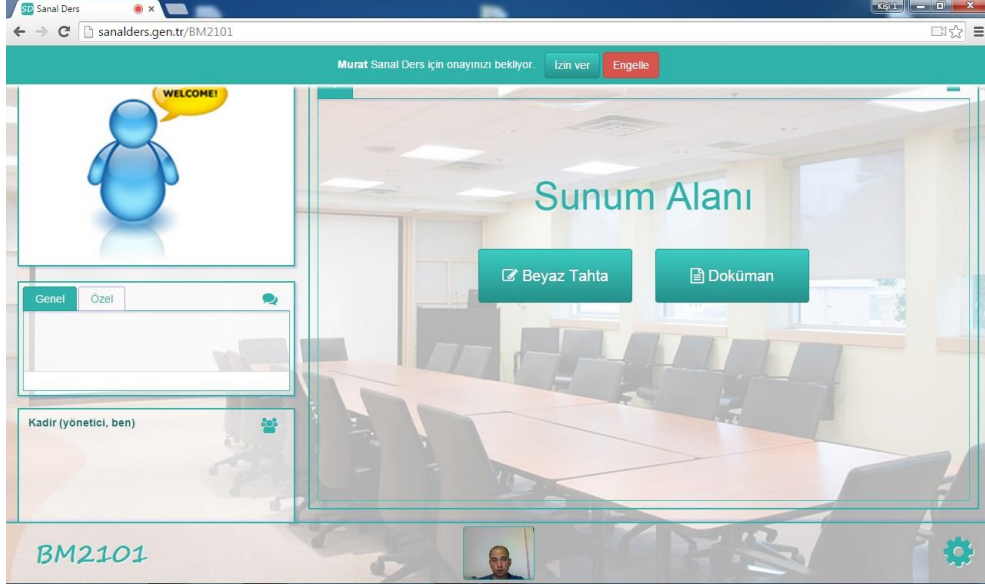
Şekil 3.7. Katılımcı Davet Penceresi

Derse davet edilecek katılımcıların elektronik postaları ve ders ile ilgili kısa bilgiler girilerek sistem tarafından girilen elektronik posta adreslerine davet postası gönderilir. Gönderilen davet postası üzerinde bulunan linke tıklanarak ders açılış sayfası görüntülenecektir. Uygulama tarafından gönderilen elektronik posta örneği Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Örnek Davet Elektronik Postası

Derse katılmak isteyen katılımcılar uygun tarayıcıları kullanarak gerekli link vasıtasıyla ders sayfasını açar ve kullanıcı adını girerek derse giriş isteğinde bulunurlar. Derse giriş yetkisi eğitimciye olup derse giriş izni isteyen katılımcı bilgisi eğitimci ekranında Şekil 3.8’deki gibi görünecektir. Katılımcı ekranında Şekil 3.4’te görünen kamera ve mikrofon izni penceresi açılacak bu seçimden sonra ise “Derse giriş için yönetici izni bekleniyor. Lütfen yöneticinin onayını bekleyiniz.” uyarısı yer alacaktır.



Şekil 3.9. Katılımcının Derse Girişi İçin İzin Verilmesi

Eğitici tarafından katılımcının derse girişine izin verilmesi durumunda, katılımcı kamera ve mikrofon izni vermiş ise görüntüsü ve sesi eğiticiye aktarılacaktır. Katılımcının kamera ve mikrofon kullanım izni vermemesi durumunda ses ve görüntüsü ileilmeyecek, sadece katılımcı eğiticinin ses ve görüntüsünü alacaktır. Eğitici tarafından katılımcının derse girişine izin verilmemesi (Engelle butonu ile) durumunda katılımcı derse katılım sağlayamayacak ve “Derse giriş talebiniz ... tarafından reddedildi” uyarısını alacaktır.

3.3. Mesajlaşma, Sunum ve Etkileşim Alanları

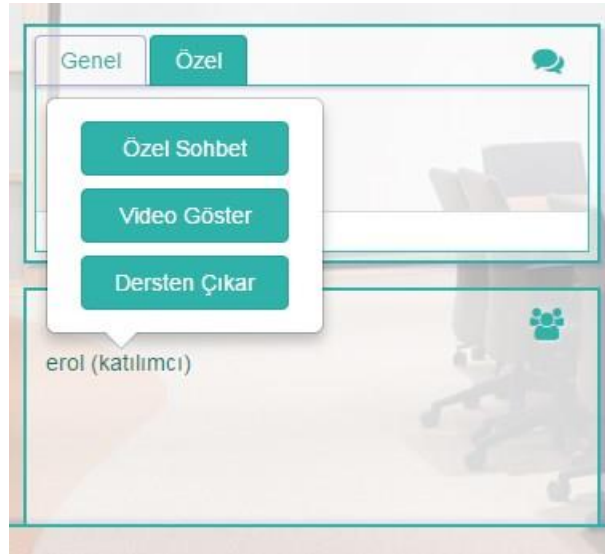
Sanal Ders uygulamasına giriş yapan tüm katılımcıların listesi eğitici ekranında katılımcı listesi alanında listelenmektedir (Bkz. Şekil 3.10). Eğitici katılımcı listesindeki katılımcı isimlerine tıkladığında Şekil 3.11’deki pencere görünecektir. Bu menüde Özel Sohbet, Video Göster ve Dersten Çıkar butonları bulunmaktadır.

Özel sohbet fonksiyonu tıkladığında o katılımcı ile özel mesajlaşma alanı açılacaktır. Katılımcı listesinin üstünde bulunan sohbet alanında özel sekmesi altında

İstenen katılımcıyla bire bir mesajlaşmak mümkündür. Ayrıca eğitici Genel sekmesini kullanarak tüm katılımcılara mesaj gönderebilir. Katılımcılar ise derse iştirak eden diğer katılımcıların bilgilerini görmez ve onlara özel veya genel mesaj gönderemez, sadece eğitime mesaj gönderebilirler.



Şekil 3.10. Katılımcı Listesi

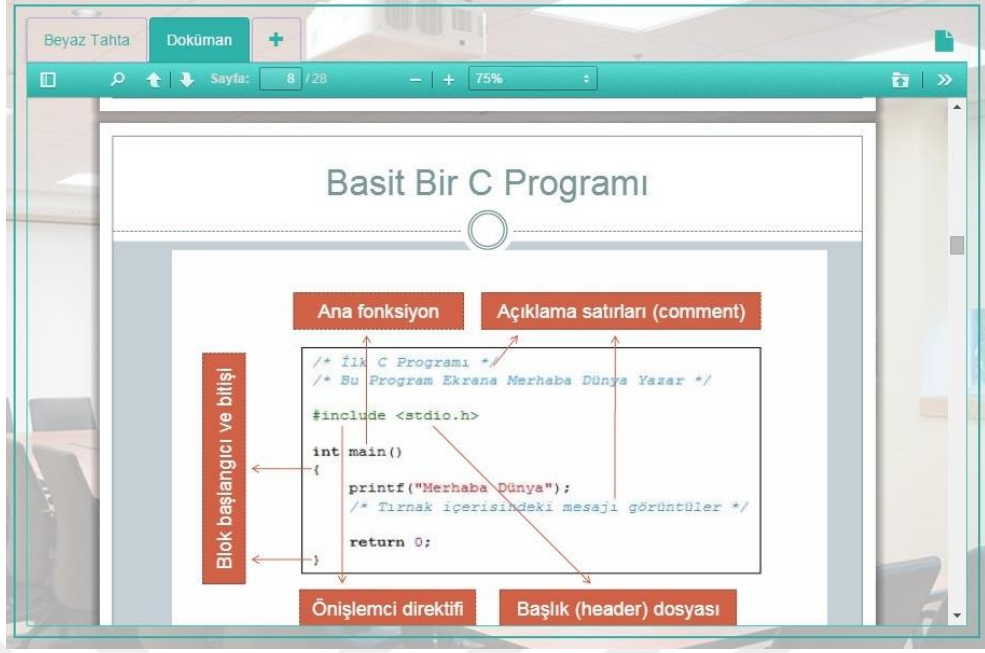


Şekil 3.11. Katılımcı Etkileşim Menü

Özetle; ileti paylaşımında katılımcılar sadece eğiticiye ileti gönderebilmektedirler. Buradaki amaç uygulamanın sadece eğitim amaçlı kullanılması ve dersin verimliliğinin arttırmasıdır. Ders esnasında katılımcılar arasında yapılacak ve dersin gidişatını bozabilecek sohbet ve görüşmelerin engellenmesi hedeflenmiştir. Katılımcıların eğitici ile görüntülü ve sesli iletişimi bulunmadığı durumlarda soracakları sorular veya iletilmesi gereken mesajlar için anlık ileti paylaşımı yapılması öngörülmüştür. Eğitimci ise katılımcıların tümüne birden veya sadece bir katılımcıya özel ileti gönderebilmektedir. Şekil 3.11’de gösterilen pencerede bulunan “Özel Sohbet” sekmesi ile katılımcılara özel mesaj gönderme fonksiyonu gösterilmiştir.

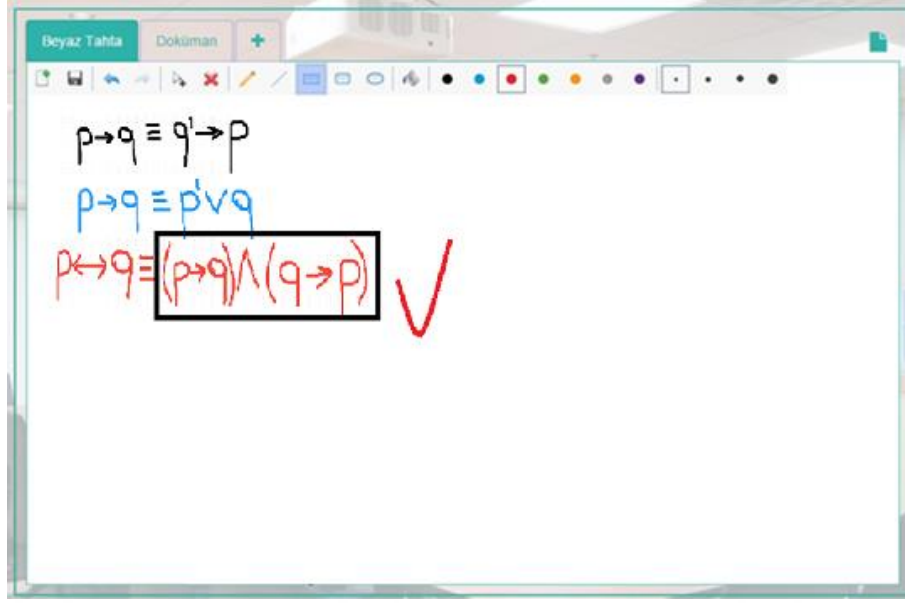
“Video Göster” sekmesi, video ve ses izni veren katılımcılardan seçilen birinin ses ve görüntüsünü alarak eğitici penceresinde uzak video alanı olan sol üste gösterir. Burada katılımcıların bireysel soru sorması ve diğer isteklerinin karşılanması hedeflenmiş, böylece; eğitici ile katılımcı arasında etkileşim arttırılmıştır. Ayrıca eğitici tarafından herhangi bir nedenle dersten çıkarılmak istenen katılımcı “Dersten Çıkar” sekmesi ile dersten çıkarılabilmektedir.

Sanal Ders uygulamasında eğitimin daha verimli olabilmesi için görsel materyallerin kullanılmasına önem verilmiştir. Eğitimci tarafından hazırlanan sunum ve pdf dokümanları sunum alanında bulunan doküman bölümünde sergilenebilmektedir (Bkz. Şekil 3.12). Eğitimci tarafından sergilenmek istenen doküman sunum alanındaki “Doküman” sekmesi vasıtasıyla bulunup açılır ve açılan doküman pdf formatında ise sunucuya yüklenir. Dokümanların pdf dosyası olmaması durumunda desteklenen formattaki dokümanlar (ppt, pptx, doc, docx) pdf’e dönüştürülerek sunucuya yüklenmektedir. Sunucuya yüklenen doküman buradan da ilgili derse iştirak eden tüm katılımcıların doküman alanına yüklenerek doküman sunumu başlar. Eğitici doküman üzerinde yaptığı değişiklikler hazırlanan scriptler ile sürekli kontrol edilerek anında katılımcılara anlık olarak iletilmektedir. Böylece ders esnasında eğitimci anlatımını görsel materyalleri kullanarak zenginleştirebilmektedir. Ayrıca katılımcılar, eğitici sunum içinde ilerlemesi, başka bir sayfaya geçmesi gibi değişiklikleri takip etmek zorunda kalmayacak, dersin takibi kolaylaşmış olacaktır.



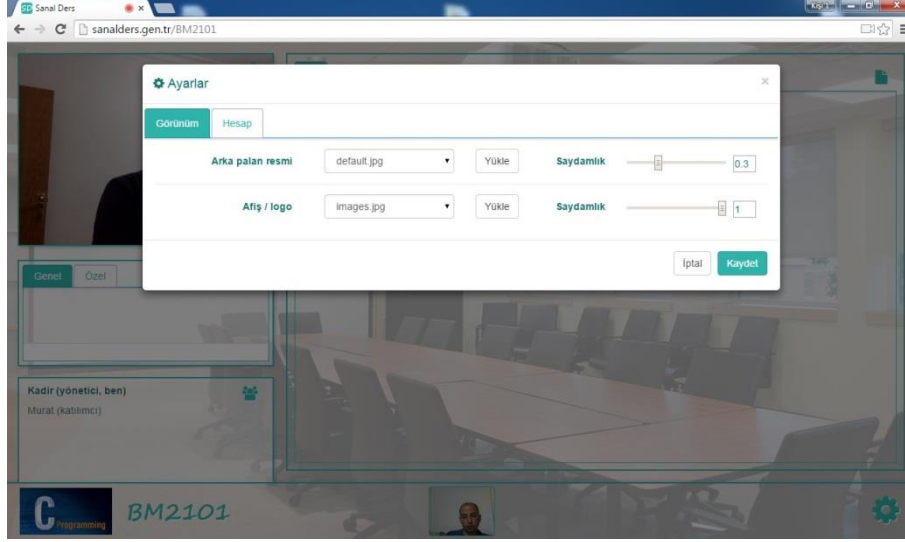
Şekil 3.12. Doküman Sunum Alanı

Beyaz tahta alanı eğiticinin yazı, çizi ve şekiller ile dersi zenginleştirmesi hedeflenerek geliştirilmiştir. Beyaz tahta alanındaki değişiklikler de katılımcılara anlık iletilmektedir (Bkz. Şekil 3.13). Eğiticinin tahta üzerinde yaptığı tüm çizimler katılımcılara iletilmektedir. Ayrıca doküman ve beyaz tahta alanlarındaki geçişler de katılımcılara iletilmektedir. Örneğin eğiticinin doküman üzerinden dersi sürdürürken beyaz tahtaya geçişi veya beyaz tahtadan dokümana geçişi katılımcılarda da pencerelerin değişmesiyle anlık olarak gösterilir.



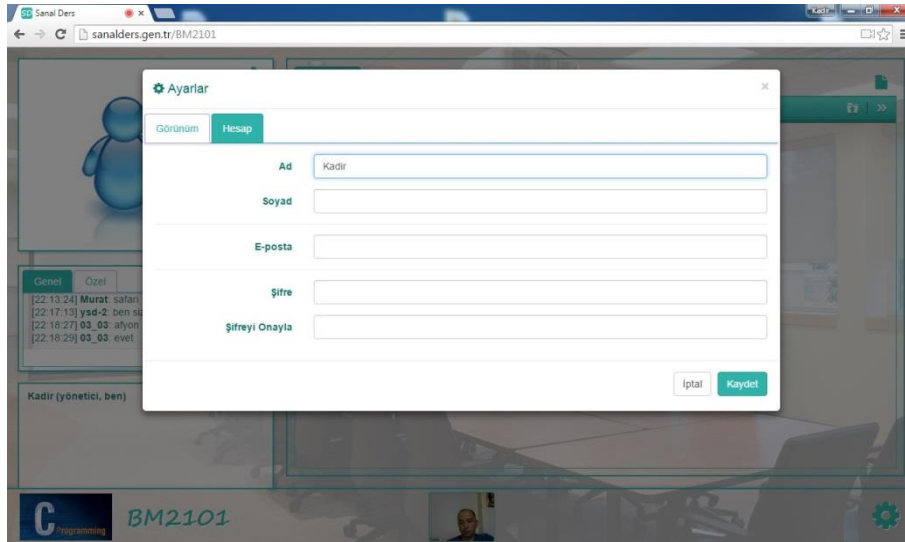
Şekil 3.13. Beyaz Tahta Sunum Alanı

Ders sayfasının ayarları da eğitici tarafından ana ekranda sağ altta bulunan sekmeden yapılabilmektedir (Bkz. Şekil 3.6). Ayarlar penceresinin “Görünüm” sekmesinden eğitimi dersin arka plan resmini ve ders logosunu ayarlanabilmektedir. Ders özelleştirme ve ayar penceresi Şekil 3.14’de gösterilmiştir. Ders için bir logo eklenebileceği gibi sayfa arka plan resmidе değiştirilebilir. Seçilen logo ve arka plan resminin saydamlığı da eğitici tarafından belirlenebilmektedir. Ayarların kaydedilmesiyle devam eden dersin logo ve arka plan ayarları korunabilir. Ayarlarda yapılan değişiklikler kaydedildikten sonra tüm katılımcılara iletilmektedir.



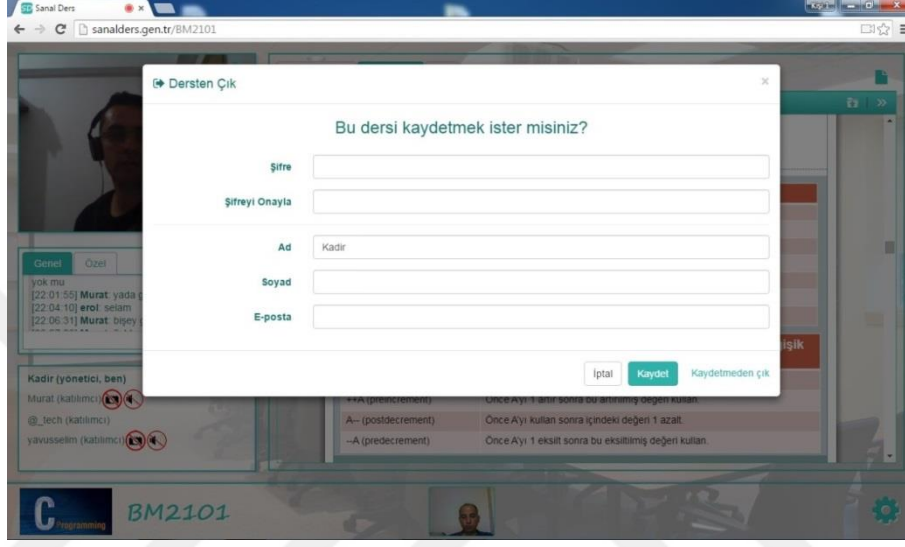
Şekil 3.14. Ders Özelleştirme ve Ayar Penceresi

Ayarlar penceresinin “Hesap” sekmesinden ise eğitimci dersle ilgili ayarları daha sonra da kullanabilmek maksadıyla kaydedebilmektedir. Şekil 3.15’de örnek kayıt görünmektedir. Kayıt için gerekli ad, soyad, elektronik posta adresi ve şifre bilgileri girildikten sonra kayıt işlemi tamamlanacaktır. Eğitimci daha sonra derse kaydedilen isim ve şifre ile girerek daha önceden yaptığı ayarları kullanarak dersi tekrar açabilmektedir.



Şekil 3.15. Ders Ayarlarını Kaydetme

Dersten çıkış ana ekranının sağ atında bulunan sekmedeki “Dersten Çık...” butonu vasıtasıyla yapılabilir. Bu buton tıkladığında Şekil 3.16’de görünen kayıt bilgileri giriş ekranı görünecektir. Eğitici kayıt bilgilerini doldurarak ders ayarlarını kaydedebilir veya “Kaydetmeden çık” butonu ile ders ayarlarını kaydetmeden çıkış gerçekleştirebilir.



The screenshot shows a web browser window with the URL 'sanalders.gen.tr/BM2101'. A modal dialog box titled 'Dersten Çık' is open, asking 'Bu dersi kaydetmek ister misiniz?'. The dialog box contains the following fields and buttons:

- Şifre: [Empty text input field]
- Şifreyi Onayla: [Empty text input field]
- Ad: Kadir [Text input field]
- Soyad: [Empty text input field]
- E-posta: [Empty text input field]
- Buttons: İptal, Kaydet, Kaydetmeden çık

The background shows a video conference interface with a list of participants and a chat window.

Şekil 3.16. Çıkış Öncesi Ders Ayarlarının Kaydedilmesi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geliştirilen uygulama ile eğitim kurumlarının kullandığı uzaktan eğitim araçlarının genellikle eksik kaldığı ve eğitimi daha etkin hale getirecek uygulamalar kullanıcılara sunulmuştur.

Geliştirilen uygulama sayesinde eğitici ile katılımcılar platform bağımsız, mobil cihaz veya kişisel bilgisayarları ile eğitime iştirak edebilmektedirler. Cihazlara herhangi bir uygulama veya eklenti kurulmasına ihtiyaç yoktur. Web tabanlı bir sistem olması nedeniyle internetin bulunduğu tüm yer ve ortamlarda uygulama kullanılabilir. Uygulamanın çalışması için modern web tarayıcıları (Google Chrome, Mozilla Firefox, Opera) ile özellikle de eğiticinin ses ve görüntüsünün katılımcılara iletilmesi için multimedya aygıtlarına ihtiyaç vardır. Sanal Ders uygulaması mimarisine genel bakış Şekil 1’de verilmiştir. WebRTC şuan için Internet Explorer tarafından henüz desteklenmemektedir.

Yapılan literatür araştırmalarında, ülkemizde yayınlanan yüksek lisan ve doktora tez çalışmalarında WebRTC ile yapılmış benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ulusal ve uluslararası yayınlar (sempozyum, makale vb.) incelendiğinde ise web tabanlı gerçek zamanlı uygulamalara rastlanmıştır. Söz konusu uygulamaların birçoğunda, son yıllarda popülaritesi artan WebRTC’nin kullanıldığı açıkça görülmektedir. Web tabanlı sanal sınıf çalışması olarak Buasri’nin[7] 2014 yılında yaptığı çalışması bulunmaktadır. İncelenen yazılarda bahsedilen uygulamaların birçoğu tüm eşler arasında video, ses ve veri akışı sağlayacak şekilde gerçekleştirilmiş, web konferans benzeri uygulamalardır.

Yapılan çalışmanın tüm katılımcıların birbirini gördüğü konferans benzeri bir uygulama olmasından özellikle kaçınılmıştır. Bunun nedeni, her bir katılımcının ses ve videosunun diğer katılımcılara iletilmesi yani bir katılımcıya herkesin verisinin gelmesi özellikle internet hızının düşük olduğu durumlarda sorun oluşturacak olmasıdır. Ayrıca artan veri transferinin kullanıcılara yüksek internet maliyeti getirecek olması ve tüm katılımcıların aynı anda herkesi görmesinin uygulamanın

ana hedeflerinden olan ders verimliliğini azaltacağı veya uygulamanın amacı dışında kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Mevcut uygulamada 10 katılımcıya kadar video ve ses transferi desteklenmektedir. Bu ve benzeri web tabanlı sanal sınıf uygulaması gerçekleştirecek geliştiricilerin, bant genişliğini daha etkin kullanarak kullanıcı sayısının arttırılmasına yönelik çalışmalar yapabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca sanal sınıf sisteminin etkinliğinin arttırılması amacıyla ekran paylaşımı (eğitici masaüstü görüntüsü), ortak video izleme ve eğiticinin ders anlatımını kaydedebileceği, kayıt ve tekrar oynatma fonksiyonları gibi çalışmalar yapılabilir. Yapılan çalışmanın ücretli ve abonelik gerektiren sanal sınıf uygulamalarına bir alternatif olabileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Johansson, D., Holmgren, M. Towards Implementing Web-Based Adaptive Application Mobility Using Web Real-Time Communications. 2014 Eighth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, s. 483-486, 2014.
- [2] Johansson, D., Karl A., Web-based Adaptive Application Mobility, 2012 IEEE 1st International Conference on Cloud Networking (CLOUDNET), s. 87-94, 2012.
- [3] R.Terkeşli, İnsan Kaynaklarının Geliştirilmesinde Kullanılan Sanal Sınıf Uygulamalarının Mesleki Gelişime Katkısının Değerlendirilmesi (Emniyet Genel Müdürlüğü Örneği). Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2010.
- [4] Y.Annagylyj, Geleneksel Öğretim İle Sanal Sınıf Öğretim Süreçlerinin Öğrenci Başarısına Etkisinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2006.
- [5] Buasri, N., Janpan, T., Yamborisut, U., Wongsawang, D. Web-Based Interactive Virtual Classroom Using Html5-Based Technology. 2014 Third ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC), s. 33-36, 2014.
- [6] Y.K.Türel, Sanal Sınıf Eğitim Merkezi Yazılım Projesi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Elazığ, 2003.
- [7] Deshpande, S.G.; Jenq-Neng Hwang, An Interactive Virtual Classroom-Multimedia Distance Learning System. 1999 IEEE 3rd Workshop on Multimedia Signal Processing, P. 575 – 580, 1999.

- [8] Sankar, C., Video-Conferencing In A Classroom II. Proceedings of International Conference on Engineering and Technology Management. IEMC 96, p 591 - 595.1996
- [9] Ju Byoung Oh, Jin Suk Kim and Hye Kyu Kim, An Application Sharing Object And Behavior For Collaboration Based System. Proceedings Of The 23rd Euro Micro Conference New Frontiers of Information Technology EUROMICRO 97, p. 38 – 43, 1-4 Sept. 1997.
- [10] Surachai, S. and Chalathip, C., Real-Time Classroom System With Two Way Communication For Distance Learning. EDUCOM International Conference, 2006.
- [11] WebRTC. Çevrimiçi, <http://www.webrtc.org/> (Erişim tarihi: 11.10.2015)
- [12] WebRTC Nedir? Uç Birim Yazılımlarının Sonu Mu?, S. Erkan, Karel A.Ş., Çevrimiçi, <http://www.karel.com.tr/blog/webrtc-nedir-uc-birim-yazilimlarinin-sonu-mu> (Erişim tarihi: 01.09.2015)
- [13] The Internet Engineering Task Force. Çevrimiçi, <https://www.ietf.org/> (Erişim tarihi: 01.09.2015)
- [14] World Wide Web Consortium. Çevrimiçi, <http://www.w3.org/> (Erişim tarihi: 01.09.2015)
- [15] Loreto, S., Romano, S. Real-Time Communication with WebRTC, O'Reilly Media, 2014.
- [16] Adam B., Daniel B., Cullen J., Anant N. Real-time Communication with WebRTC. WebRTC 1.0: Real-time Communication Between Browsers, 10

February 2015. Çevrimiçi <http://www.w3.org/TR/webrtc/> (Erişim tarihi: 01.11.2015)

- [17] Toğay, C. Mobil Cihazlarda WebRTC Teknolojisi. IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference(SIU), s. 256-259, 2014.
- [18] Sergiienko, A., Gangardhar M. WebRTC Blueprints: Develop your very own media applications and services using WebRTC. Birmingham, Packt Publishing, ISBN 978-1-78398-310-0,2014.
- [19] Cola, C., Honoriu V. On Multi-user Web Conference Using WebRTC. 2014 18th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), s. 430-433, 2014.
- [20] Sredojev, B., Samardzija D., Posarac D. WebRTC Technology Overview and Signaling Solution Design and Implementation. 2015 38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), s. 1006-1009, Opatija, Croatia, 2015.
- [21] I. Grigorik, High Performance Browser Networking. Çevrimiçi <http://chimera.labs.oreilly.com/books/1230000000545/ch18.html> (Erişim tarihi: 01.11.2015)
- [22] J. Rosenberg, Interactive Connectivity Establishment (ICE): A Protocol for Network Address Translator (NAT) Traversal for Offer/Answer Protocols. RFC Editor, Fremont, CA, USA, 5245, Apr. 2010.

- [23] Dutton, S. WebRTC in the real world: STUN, TURN and signaling (2013, Nov 4). Çevrimiçi <http://www.html5rocks.com/en/tutorials/webrtc/infrastructure/> (Erişim tarihi: 01.11.2015)
- [24] Dutton, S. Getting Started with WebRTC-HTML5 Rocks(2014, Feb 21). Çevrimiçi, <http://www.html5rocks.com/en/tutorials/webrtc/basics/#toctrpcpeerconnection> (Erişim tarihi: 01.11.2015)
- [25] Fernandez, L., Diaz, M., Mejias, R., Lopez, F., Naevatec, J. Catalysing the Success of WebRTC for the Provision of Advanced Multimedia Real-time Communication Services. 2013 17th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks (ICIN), s. 23-30, 2013.
- [26] Zeidan, A., Lehmann, A., Trick, U. WebRTC enabled multimedia conferencing and collaboration solution. WTC 2014, Berlin, Germany, Print ISBN 978-3-8007-3602-7, 2014.
- [27] N. W. Group, J. Rosenberg, R. Mahy, P. Matthews, and D. Wing. RFC 5389 - Session Traversal Utilities for NAT (STUN), IETF, Oct. 2008.
- [28] WebRTC. WebRTC overview. Çevrimiçi, <http://www.webrtc.org/reference/architecture> (Erişim tarihi: 11.10.2015)
- [29] Holmberg, C., Alvestrand, H. Multiplexing Negotiation Using Session Description Protocol (SDP) Port Numbers. IETF Internet draft, Feb. 2012, Çevrimiçi, <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-mmusic-sdp-bundle-negotiation-00> (Erişim tarihi: 01.10.2015)

- [30] Jesup, R., Loreto, S., Tuexen, M. RTCWeb Datagram Connection. Draft-ietf-rtcweb-data-channel-01- Mar. 2012, Çevrimiçi, <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-rtcweb-data-channel-01> (Erişim tarihi: 21.08.2015)
- [31] Rescorla, E.,Modadugu, N. Datagram Transport Layer Security. IETF, 2006.
- [32] Andreasen, F., Baugher, M., Wing, D. Session Description Protocol (SDP) Security Descriptions for Media Streams. IETF 2006.
- [33] Ott, J., Wenger, S., Sato, N., Burmeister, C., Rey, J. Extended RTP Profile for Real-time Transport Control Protocol (RTCP)-Based Feedback (RTP/AVPF). IETF, 2006.
- [34] WebRTC Stats : WebRTC Statistics and Metrics. Çevrimiçi, <http://webrtcstats.com/webrtc-revolution-in-progress/> (Erişim tarihi: 11.10.2015)
- [35] Kodcu.com. NoSQL Nedir Avantajları ve Dezavantajları Hakkında Bilgi. Çevrimiçi, <http://kodcu.com/2014/03/nosql-nedir-avantajlari-ve-dezavantajlari-hakkinda-bilgi/> (Erişim tarihi: 18.10.2015)
- [36] BMO Dergi. NodeJS Nedir? Çevrimiçi, <http://dergi.bmo.org.tr/sayi-3/nodejs-nedir> (Erişim tarihi: 11.10.2015)
- [37] LinkedIn Moved from Rails to Node: 27 Servers Cut and Up to 20x Faster - High Scalability-. Todd H., Çevrimiçi, <http://highscalability.com/blog/2012/10/4/linkedin-moved-from-rails-to-node-27-servers-cut-and-up-to-2.html> (Erişim tarihi: 11.10.2015)

[38] Node.js at PayPal | PayPal Engineering Blog, Jeff H., Çevrimiçi,
<https://www.paypal-engineering.com/2013/11/22/node-js-at-paypal/> (Erişim
tarihi: 11.10.2015)



EKLER

EK-1 Eğitici Ekranı HTML Kodu

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <meta charset="utf-8">
  <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">

  <title>Sanal Ders</title>

  <% include owner/scripts %>

  <script>
    var room = "<%=room%>";
    var username = "<%=lastName%>";
    var firstName = "<%=firstName%>";
    var email = "<%=email%>";
    var password = "<%=password%>";
    var notifyfirst = <%=notifyfirst%>;
    var askattendeess = <%=askattendeess%>;
    var backimg = "<%=backimg%>";
    var backopacity = <%=backopacity%>;
    var logo = "<%=logo%>";
    var looopacity = <%=looopacity%>;
  </script>
</head>

<body class="main-container">
  <div class="ui-layout-center">
    <div class="main-right">
      <div class="right-container">
        <div id="tabpanel" role="tabpanel" class="h-100p">

          <ul id="tablist" class="nav nav-tabs" role="tablist">
            <li role="presentation" class="hidden">
              <a href="#whiteboard" aria-controls="whiteboard" role="tab" data-
toggle="tab">Beyaz Tahta</a>
            </li>
            <li role="presentation" class="hidden">
              <a href="#pdf-board" aria-controls="pdf-board" role="tab" data-
toggle="tab">Doküman</a>
            </li>
            <li role="presentation" class="active">
```

```

        <a href="#add-board" aria-controls="add-board" role="tab" data-
toggle="tab"><span class="glyphicon glyphicon-plus" aria-
hidden="true"></span></a>
    </li>
</ul><!-- /Nav tabs -->

<div id="tab-content" class="tab-content">
    <div role="tabpanel" class="tab-pane fade" id="whiteboard">
        <% include owner/whiteboard %>
    </div><!-- /#whiteboard -->

    <div role="tabpanel" class="tab-pane fade" id="pdf-board">
        <% include owner/pdf-board %>
    </div><!-- /#pdf-board -->

    <div role="tabpanel" class="tab-pane active" id="add-board">
        <% include owner/add-board %>
    </div><!-- /#add-board -->
</div><!-- /.Tab panes -->

</div><!-- /#tabpanel -->

<div class="btn-prest-icon">
    <a id="btn-prest-control" href="javascript:void(0)"><span class="fa fa-
file" aria-hidden="true"></span></a>
</div>
</div><!-- /.right-container -->
</div>
</div><!-- /.ui-layout-center -->

<div class="ui-layout-south">
    <div class="main-bottom">
        <div class="botm-left">
            <div class="logo-container">
                <div class="lft">
                    <img id="img-logo" src="">
                </div>
                <div class="lft pd-t-11">
                    <a href=""><span class="logo-name">Ders</span></a>
                </div>
            </div>
        </div>
        <div class="botm-right">
            <div class="conf-container">
                <button id="btn-show-video" type="button" class="btn btn-noborder"
style="display: none;">
                    <span class="fa fa-user" aria-hidden="true"></span>
                </button>
            </div>
        </div>
    </div>
</div>

```

```

        <button id="btn-show-chat" type="button" class="btn btn-noborder"
style="display: none;">
        <span class="fa fa-comments" aria-hidden="true"></span>
        </button>
        <button id="btn-show-users" type="button" class="btn btn-noborder"
style="display: none;">
        <span class="fa fa-users" aria-hidden="true"></span>
        </button>
        <button id="btn-show-prest" type="button" class="btn btn-noborder"
style="display: none;">
        <span class="fa fa-file-o" aria-hidden="true"></span>
        </button>
        <button id="btn-setting" type="button" class="btn btn-noborder">
        <span class="fa fa-cog" aria-hidden="true"></span>
        </button>
    </div>
</div>
<div class="botm-center">
    <div class="myvideo-container">
        <video id="my-video" muted autoplay></video>
    </div>
</div>
</div><!-- /.ui-layout-south -->

<div class="ui-layout-west">
    <div class="main-left">
        <div class="video-container">
            <video id="other-video" autoplay></video>
            <div class="btn-top-icon">
                <a id="btn-other-control" href="javascript:void(0)"><span class="fa fa-
user" aria-hidden="true"></span></a>
            </div>

            <div class="video-control">
                <div class="btmControl">
                    <div class="volume" title="Ses ayarı">
                        <span class="volumeBar"></span>
                    </div>
                    <div class="sound sound2 btn" title="Ses Kapat/Aç"></div>
                </div>
            </div>

            <div class="no-audio-placeholder">
                
            </div>

        </div><!-- /.video-container -->

```

```

<div class="chat-wnd">
  <ul id="chat-sort" class="nav nav-tabs" role="tablist">
    <li role="presentation" class="active">
      <a href="#public-chat" aria-controls="public-chat" role="tab" data-
toggle="tab">Genel</a>
    </li>
    <li role="presentation">
      <a href="#private-chat" aria-controls="private-chat" role="tab" data-
toggle="tab">Özel</a>
    </li>
  </ul><!-- /Nav tabs -->

  <div id="chat-tab-content" class="tab-content">
    <div role="tabpanel" class="tab-pane active" id="public-chat">
      <div class="chat-cont">
        <ul id="chat-list" class="ul-list chat-list"></ul>
      </div>
      <input type="text" id="inp-public-chat">
    </div><!-- /#public-chat -->
    <div role="tabpanel" class="tab-pane fade" id="private-chat">
      <div class="chat-cont">
        <ul id="private-chat-list" class="ul-list chat-list"></ul>
      </div>
      <input type="text" id="inp-private-chat">
    </div><!-- /#public-chat -->
  </div><!-- /#chat-tab-content -->

  <div class="btn-top-icon">
    <a id="btn-chat-control" href="javascript:void(0)"><span class="fa fa-
comments" aria-hidden="true"></span></a>
  </div>
</div><!-- /.chat-wnd -->

<div class="users-chat">
  <div class="users-cont">
    <ul id="users-list" class="ul-list"></ul>
  </div>
  <div class="btn-top-icon">
    <a id="btn-users-control" href="javascript:void(0)"><span class="fa fa-
users" aria-hidden="true"></span></a>
  </div>
</div><!-- /.users-chat -->
</div><!-- /.ui-layout-east -->

<div id="user_modal" class="modal fade">
  <div class="modal-dialog">
    <div class="modal-content">
      <div class="modal-header">

```

```

        <h4 class="modal-title">Adınız</h4>
    </div>
    <form class="form-horizontal" name="user_form" id="user_form"
method="post" action="">
        <div class="modal-body">
            <div class="form-group">
                <label for="user_name" class="control-label col-lg-
3">Adınız</label>
                <div class="col-lg-9">
                    <input class="form-control" id="user_name" type="text"
placeholder="Adınızı giriniz" required />
                </div>
            </div>
        </div>
        <div class="modal-footer">
            <button type="submit" id="btn_ok" class="btn btn-main"> OK
</button>
        </div>
    </form>
</div><!-- /.modal-content -->
</div><!-- /.modal-dialog -->
</div><!-- /.modal -->

<div id="users-pop" class="hidden">
    <div class="align-center main-popover">
        <div>
            <button onclick="start_chat(event)" class="btn btn-main-flat">Özel
Sohbet</button>
        </div>
        <div>
            <button onclick="view_video(event)" class="btn btn-main-flat">Video
Göster</button>
        </div>
        <div>
            <button onclick="kickout(event)" class="btn btn-main-flat">Dersten
Çıkar</button>
        </div>
    </div><!-- /#users-pop -->

<div id="other-video-pop" class="hidden">
    <div class="align-center main-popover">
        <div>
            <button onclick="on_other_video_min(event)" class="btn btn-main-
flat">Minimize</button>
        </div>
        <div>
            <button onclick="on_other_video_max(event)" class="btn btn-main-
flat">Tam Ekran</button>

```

```

        </div>
        <!--<div>
        <button onclick="on_other_mute(event)" class="btn btn-main-
flat">Mute</button>
        </div>-->
    </div>
</div><!-- /#other-video-pop -->

<div id="chat-wnd-pop" class="hidden">
    <div class="align-center main-popover">
        <div>
            <button onclick="on_chat_wnd_min(event)" class="btn btn-main-
flat">Minimize</button>
            </div>
            <!--<div>
            <button onclick="on_chat_wnd_max(event)" class="btn btn-main-
flat">Full Screen</button>
            </div>-->
        </div>
    </div><!-- /#chat-wnd-pop -->

<div id="users-chat-pop" class="hidden">
    <div class="align-center main-popover">
        <div>
            <button onclick="on_users_chat_min(event)" class="btn btn-main-
flat">Minimize</button>
            </div>
            <!--<div>
            <button onclick="on_users_chat_max(event)" class="btn btn-main-
flat">Full Screen</button>
            </div>-->
        </div>
    </div><!-- /#users-chat-pop -->

<div id="prest-pop" class="hidden">
    <div class="align-center main-popover">
        <div>
            <button onclick="on_prest_min(event)" class="btn btn-main-
flat">Minimize</button>
            </div>
            <div>
            <button onclick="on_prest_max(event)" class="btn btn-main-
flat">Maximize</button>
            </div>
        </div>
    </div><!-- /#users-chat-pop -->

<div id="login_modal" class="modal fade">
    <div class="modal-dialog">

```



```

<div class="modal-content">
  <div class="modal-header">
    <h4 class="modal-title">Bu Ders İçin Şifre Gerekir</h4>
  </div>
  <form class="form-horizontal" name="confirm-pwd-form" id="confirm-
pwd-form" method="post" action="">
    <div class="modal-body">
      <div id="login_alert" class="form-group hide">
        <label class="control-label col-lg-2"></label>
        <div class="col-lg-10">
          <div class="alert alert-danger">Yanlış Şifre.</div>
        </div>
      </div>
      <div class="form-group">
        <label for="user_pwd" class="control-label col-lg-2">Şifre</label>
        <div class="col-lg-10">
          <input class="form-control" id="room_password"
type="password" />
        </div>
      </div>
    </div>
    <div class="modal-footer">
      <button type="submit" id="btn-login" class="btn btn-main"> OK
</button>
    </div>
  </form>
</div><!-- /.modal-content -->
</div><!-- /.modal-dialog -->
</div><!-- /.modal -->

<div class="loading">
  
</div>

<% include owner/setting %>
<script src="/js/available.js"></script>
</body>
</html>

```

EK-2 Katılımcılar İçin Yazılan Script

```
var StateViewer = {
  active_tab : "", // aktif ders id
  doc_url : "", // acılan dokuman url'si
  owner_eid : "", // kullanıcı easyrtc id
  is_calling : false, // arama için bayrak. Birden fazla aramayı engellemek için
  hasVideo : true, // kamera görüntüsü var mı
  hasAudio : true // Ses var mı
};
var myPresenter_flag = false;
var username = "";
var presenter_eid = "" // egiticinin easyrtc idsi
var init_presenter = false;

$(document).ready(function() {

  // ana ekran ayarlarını set et
  set_layout();
  set_init_ui();
  set_ui();
  set_back_logo();

  set_ui_events();

  if (username) {
    // video ile kontak kur
    connect_vchat();
    // chat geçmişini yükle
    load_chat_history();
  } else {

    $('#user_modal').modal({backdrop: 'static', show: true});
  }

  $('#user_form').on('submit', function() {
    username = $('#user_name').val();
    // adı kaydet
    var param = {username: username, room: room, ownerflag: 'false'};
    $.post('/saveusername', param, function(data) {
      console.log(data);
      if (data == 'saved'){
        $('#user_modal').modal('hide');

        // video ile kontak kur
        connect_vchat();
        // chat geçmişini yükle
        load_chat_history();
      }
    });
  });
});
```

```

        } else {
            alert (data);
        }
    });
    return false;
});

$('#tablist>li>a[data-toggle="tab"]').on('shown.bs.tab', function (e) {
    var active_tab = $(e.target).attr('aria-controls');
    StateViewer.active_tab = active_tab;

    if (!myPresenter_flag) return;
    // oda mesaji gonder
    init_presenter = true;
    var msg = {};
    msg.event = 'changed_tab';
    msg.target = active_tab;
    send_room_message(msg);
});

$('#btn-documents').click(function() {
    document.getElementById('fileInput').click();
});

$('#.btn-share').click(function() {
    var tab_id = $(this).attr('aria-controls');
    var tab_control = $('#tablist a[aria-controls="' + tab_id + '"');
    tab_control.parent().removeClass('hidden');
    tab_control.tab('show');
});

$('#btn-req-presenter').click(function(){
    on_req_presenter();
})

});

function handle_msg(who, content) {
    //console.log('handle_msg', content.event);
    switch (content.event) {
        case 'request_doc_state':
            received_request_doc_state(who);
            break;
        case 'request_doc_url':
            received_request_doc_url(who);
            break;
        case 'owner_eid':

```

```

StateViewer.owner_eid = content.data;
init_presenter = content.init_presenter;
if (init_presenter){
    presenter_eid = content.presenter;
    myPresenter_flag = false;
} else {
    presenter_eid = easyrtc.myEasyrtcid;
    myPresenter_flag = true;
}
set_ui();

change_presenter_state();

perform_call(StateViewer.owner_eid);

if (notifyfirst) {
    var waiting_prompt = create_waiting_prompt();
    $('body').append(waiting_prompt);
    reshape_waiting_prompt();
    $('#snd-bells')[0].play();
}
break;
case 'changed_tab':
    if (!init_presenter) {
        init_presenter = true;
        presenter_eid = who;
        myPresenter_flag = (who == easyrtc.myEasyrtcid);
        change_presenter_state();
    }

    if (content.target != "" && content.target != 'add-board') {
        change_tab(content.target);
        StateViewer.active_tab = content.target;
        if (StateViewer.active_tab == 'pdf-board' && StateViewer.doc_url == "") {
            request_doc_url();
        }
    }
    break;
case 'open_doc':
    if (content.target) {
        open_document(content.target);
        StateViewer.doc_url = content.target;
    }
    break;
case 'update_view':
    update_doc_view(content.location);
    break;
case 'kickout':
    declined_from_owner();

```

```

        break;
    case 'appearance_changed':
        var appearance = JSON.parse(content.target);
        backing = appearance.backing;
        backopacity = appearance.backopacity;
        logo = appearance.logo;
        logoopacity = appearance.logoopacity;
        set_back_logo();
        break;
    case 'response_device_state':
        if (!content.hasVideo)
            set_video_placeholder('other');
        set_audio_placeholder(content.hasAudio);
        break;
    case 'audio_level':
        remote_audio_level(content.level);
        break;
    default:
        break;
}
}

function change_tab(tab_id) {
    // aktif olan boardu goster
    var tab_control = $('#tablist a[aria-controls="" + tab_id + "']');
    tab_control.parent().removeClass('hidden');
    tab_control.tab('show');

    // sakla
    $('#tablist a[aria-controls="blank-board"]').parent().addClass('hidden');
}
/**
 * dokuman ac
 * @param doc_url
 */
function open_document(doc_url) {
    //console.log('open_document', doc_url);
    PDFViewerApplication.open(doc_url, 0);
}
/**
 * dokuman guncelle
 * @param object location - { left, top, scale, pageNumber}
 */
function update_doc_view(location) {
    PDFViewerApplication.page = location.pageNumber;
    PDFViewerApplication.setInitialView(location.pdfOpenParams, location.scale);
}
/**
 * baslangic icin dokuman yukleme

```

```

*/
function request_owner_state() {
    var msg = {};
    msg.event = 'request_state';
    send_room_message(msg);
}
/**
 * yeni dokuman yukleme
 */
function request_owner_doc_state() {
    var msg = {};
    msg.event = 'request_doc_state';
    send_room_message(msg);
}
/**
 *
 */
function request_doc_url() {
    var msg = {};
    msg.event = 'request_doc_url';
    send_room_message(msg);
}
/**
 *
 */
function request_owner_device_state() {
    var msg = {};
    msg.event = 'request_device_state';
    send_room_message(msg);
}
/**
 * dersten cikarma
 */
function declined_from_owner() {
    easyrtc.hangup(StateViewer.owner_eid);
    StateViewer.owner_eid = "";
    $('#other-video').attr('src', "");
    $('#other-video').attr('data-id', "");
    show_spinner($('#other-video')[0]);
}
/**
 * yeni dokuman acma istegi
 */
function send_open_file_msg(doc_url) {
    StateViewer.doc_url = doc_url;
    if (!myPresenter_flag) return;
    var msg = {};
    msg.event = 'open_doc';
    msg.target = doc_url;
}

```

```

    send_room_message(msg);
}
/**
 * kullanıcılara güncelle komutu gönder
 */
function send_update_view_msg(location) {
    if (!myPresenter_flag) return;
    var msg = {};
    msg.event = 'update_view';
    msg.location = { scale: location.scale, pageNumber: location.pageNumber,
pdfOpenParams: location.pdfOpenParams };
    send_room_message(msg);
}
/**
 * değişiklik bildir
 */
function received_request_doc_state(who) {
    if (!myPresenter_flag) return;
    var location = PDFViewerApplication.pdfViewer.location;
    if (!location)
        return;
    var msg = {};
    msg.event = 'update_view';
    msg.location = { scale: location.scale, pageNumber: location.pageNumber,
pdfOpenParams: location.pdfOpenParams };
    send_message_peer(who, 'msg', msg)
}
/**
 * yeni dokuman acılma tetigi
 */
function received_request_doc_url(who) {
    if (!myPresenter_flag) return;
    var msg = {};
    msg.event = 'open_doc';
    msg.target = StateViewer.doc_url;
    send_message_peer(who, 'msg', msg);
}
}

```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kadir EROL

Doğum Tarihi : 10.12.1982

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu :

Lisans : Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü (2006)

Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bölümü (2016)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar:

Genelkurmay Elektronik Sistemler Komutanlığı Teknik Analiz Şube Müdürlüğü/Gölbaşı-Ankara 2007-2012

Kara Harp Okulu Komutanlığı Bilgisayar Mühendisliği Bölümü (Öğretim Görevlisi)/Ankara 2012-...

Yayımları (SCI) :

Yayımları (Diğer):

Tetik, Y.E.; Yildizhan, A.; Erol, K. (2015). Görsel Kriptografide Yarı Tonlu Gizli Görüntünün Algılanan Kalitesinin İyileştirilmesi. *IEEE 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*. Bursa.

Araştırma Alanları :

GPU Programlama, Gerçek Zamanlı Haberleşme, Web Tabanlı E-Öğrenme, Sanal Gerçeklik...