# KONUMSAL VERİLERİN FİZİKSEL GÖRSELLEŞTİRMELER İLE İNCELENMESİ

**Mert Toka, Selim Balcısoy [(a)]**

[(a)] Sabancı Üniversitesi,
Orta Mahalle, Tuzla 34956 İstanbul,
balcisoy@sabanciuniv.edu

## ÖZ

Bu araştırma, yeni bir alan olan fiziksel görselleştirme tekniği ile üretilen 3 boyutlu cisimlerin, somut ara yüz ve görselleştirme elemanlarından yararlanarak, yoğun verilerin doğal ve etkin analizi için kullanılmasını hedefler. Sunulan çalışmada fiziksel veri görselleştirme ve somut kullanıcı ara yüzleri kullanarak kullanıcıların ortaklaşa analizler gerçekleştirilebilecekleri bir veri analizi sistemi geliştirilmiştir. Bu amaca hitaben İstanbul yükseklik harita verisi edinilmiş ve 3 boyutlu üretim için işlenmiştir. CNC ile üretimi tamamlanan fiziksel haritanın kurulumu gerçekleştikten sonra, tavandan yansıtılan ve fiziksel obje ile kalibrasyonu sağlanmış görselleştirmeler sıcaklık haritası şeklinde kullanıcıya sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** etkileşim metotları, fiziksel görselleştirme, konumsal veri görselleştirme, somut ara yüzler, yükseklik haritaları

# A VISUAL ANALYTICS SYSTEM BASED ON PHYSICAL VISUALIZATIONS

## ABSTRACT

This research aims for the natural use and efficient analysis of dense data on manufactured 3D objects, which are produced with the aid of new research field, tangible visualization, by utilizing physical interfaces and visualization elements. In the proposed work, a data analytics workstation has been developed by applying tangible data visualizations and physical interfaces, on which users are able to analyze data collaboratively. For this purpose, topographic data of Istanbul has been acquired and preprocessed for 3D manufacturing. Upon completion of installation of CNC

manufactured physical topographic map, heat map visualization of a data, which has projected from ceiling and calibrated with tangible interface, has presented to the users.

**Keywords:** interaction methods, physical visualizations, spatial data visualization, tangible interfaces, topographic map

# 1. GİRİŞ

Veri görselleştirmelerinin amacı; görme duyusunu uyararak, insanlara karmaşık verilerden anlam çıkarmakta yardım etmektir. Bunu sağlamak için bugüne kadar geleneksel bilgisayar etkileşim yaklaşımları ile karmaşık verilerin analizinin çözümü için araştırmalar yapılmıştır, ancak özellikle ortaklaşa çalışma ve uzun süreli kullanıcı eğitimi almadan analize başlama konularında ciddi sorunlar vardır. Bu yaklaşımlar kullanım yapaylığı ve grup çalışmasını desteklememek gibi birçok engelle karşı karşıya kalmaktadır. İnsanlar doğduklarından itibaren etraflarındaki dünyayı fare ve klavye kullanma güdüsüyle değil, dokunarak inceleme güdüsüyle öğrenirler, fakat geleneksel bilgisayar etkileşimler teknikleri ve görselleştirmeler bu ihtiyacı tam anlamıyla karşılayamamaktadır.

Karmaşık verilerin analizini kolaylaştırmayı amaçlayan veri görselleştirme tekniklerinin dijital ekranlardaki adaptasyonları, alışagelmiş etkileşim metotlarının yanı sıra dokunma ve vücut hareketlerinden faydalanarak ve kullanıcının algısına doğal yoldan hitap ederek daha anlaşılır ve idrak edilebilir hale gelmektedir.

Yapılan araştırmaları incelediğimizde uzamsal ekranlar üzerinde yapılan çalışmalar ile fiziksel görselleştirmelerinde rastlanan farklı kısıtlamaların ve etkileşim sorunlarının çözülebileceği belirlenmiştir. Bu soruna hitaben geleneksel görselleştirme metotlarını fiziksel ortamlarla birleştirmenin insan ile sistem arasındaki iletişimi kolaylaştıracağı bir model hazırladık. Bunun için bir veri görselleştirme sistemi inşa ederek CNC ile işlenen veya üç boyutlu yazıcıdan çıkan somut yükseklik haritası üzerine bir projektörden görüntüler yansıtılması üzerinde çalışmalarımızı başlattık.

# 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Yapılan araştırma kapsamında incelenen başlıca bilimsel konular fiziksel görselleştirmeler, somut ara yüzler ve bunların algı ve grup çalışması üzerine etkileridir. Bu konulardan fiziksel görselleştirmeler konusunda detaylı bir literatür taraması aşağıda sunulmuştur. Görüldüğü üzere fiziksel görselleştirme alanındaki çalışmalar henüz olgunlaşma seviyesindedir ve birçoğu herhangi bir veri analizi sistemi ile bütünleşik çalışmamaktadır. Algı ve ortaklaşa çalışma konularından ise sadece araştırma konusu ile ilgili alanlarda yapılan önemli çalışmalar sunulmuştur.

Fiziksel görselleştirmeler verileri sanal dünyadaki piksellere dönüştürmek yerine onları fiziksel bir forma sokar. İnsanlar çok eski tarihlerden beri killerden yaptıkları ufak cisimleri fiziksel görselleştirmeler olarak kullanmaktadır [4]. Yakın zamanda ise bu görselleştirmeler veri heykelleri şeklinde popülerlik kazanmıştır [5]. Bu veri heykelleri daha çok sanatsal odaklı olup, verinin anlaşılmasını kolaylaştırmaktan ziyade duyguları anlatmak için kullanılmaktadır. Bu veri heykelleri 3 boyutlu haritalardan [1], takılara [2] kadar farklı çeşitlerde karşımıza çıkmaktadır. Endüstri ve akademiye dönüp baktığımızda ise eskiden yapılmış bir kaç çalışmanın öne çıktığını görebiliriz. Bertin'in 1970 yılında yarattığı tekrar sıralanabilir matrisleri [6] buna örnek olarak verebiliriz.

Yukarıda en son verilen örnekler işin sanat kısmına değil veri görselleştirme kısmını odaklanmışlardır. Sanatsal kısmından farklı olarak veri görselleştirme; veri hakkında tarafsız bilgiyi insanlara aktarmayı ve bir öngörü yaratmayı hedefler. Fakat fiziksel veri görselleştirmeler özellikle maliyeti ve üretiminin zaman alması sebebiyle sanal veri görselleştirmelerinin gölgesinde kalmıştır. Bu durum son zamanlarda iki ana araştırma alanının gelişmesiyle birlikte değişmektedir. İlk alan, 3 boyutlu yazıcıların yaygın olarak kullanıldığı dijital üretimdir. Bu alan o kadar hızlı gelişmektedir ki yakın gelecekte organların 3 boyutlu yazıcılar tarafından basılarak hastalara nakledilmesi ön görülmektedir [7]. Bu tarz dijital üretim teknikleri kullanılarak fiziksel veri görselleştirme araştırmaları gün geçtikçe hız kazanmaktadır [8]. İkinci olarak dokunulabilir ara yüzler alanında artan çalışmalar da [9], [10] fiziksel veri görselleştirmelerin önünü açmaktadır. Bu iki alanın hızla gelişmesi önümüzdeki dönemlerde fiziksel veri görselleştirmelerinin kolay bir biçimde üretilebilir bir hale geleceğini göstermektedir.

Yukarıda anlatılan gelişmeler ile birlikte yakın zamanda fiziksel veri görselleştirme alanında önemli çalışmalar yapılmıştır. 2013 yılında ilk kez Jansen ve Dragicevic fiziksel veri görselleştirmelerin başarısı hakkında kullanıcı deneyleri yapmış ve bu deneyler sonucu fiziksel veri görselleştirmenin sanal görselleştirmelerden belli alanlarda üstün olduklarını göstermiştir [11]. Ayrıca yine aynı yıl içerisinde farklı bir çalışma fiziksel görselleştirmelerin analitik görevler için kullanılabileceğini göstermiştir [12]. Jansen ve Dragicevic daha sonraki çalışmalarında; ekran ötesindeki farklı görselleştirme teknikleri için bir boru hattı sunmuş ve bu tarz görselleştirmelerin oluşturulmasında bir yol haritası yaratmıştır [13]. 2014 yılında ise Saiganesh fiziksel görselleştirmelerin hızlı üretimi için bir program geliştirmiş ve gelişen teknolojinin fiziksel görselleştirmelerin üretimi için kullanılmasında önemli bir adım atmıştır [14]. Bu akademik çalışmalara ek olarak bazı şirketler fiziksel görselleştirmeleri günlük çalışmalarının bir parçası olarak kullanmaktadır. General Motors Lego'lardan 3 boyutlu görselleştirmeler yaratarak araç üretimlerindeki hataları takip etmektedir [6]. Son olarak Hans Rosling gibi akademisyenlerin fiziksel görselleştirmeleri sunumlarında [3] kullanmaları fiziksel görselleştirmelerin popülerliğini arttırmıştır.

Eğitim bilimleri ve gelişim psikolojisi alanında yapılan çalışmalar fiziksel objelerin öğrenim ve anlama yetilerini arttırdığını göstermiştir [15], [16]. Geliştirilen modeldeki ana amaçlarımızdan birisi de insanlarda zaten doğuştan var olan bu öğrenme güdüsünün kullanımını arttırmak ve veri görselleştirmelerinin anlaşılmasını ve bu görselleştirmeler ile etkileşime girmeyi kolaylaştırmaktır. Teknolojinin geldiği son noktadaki görselleştirme araçlarının hemen hepsi doğrudan olmayan etkileşimler, örneğin fare ve klavye ve daha önceden sahiplenilmiş bir görsel bilgi birikimine ihtiyaç duyarlar. Bu sebeplerle bu araçların son kullanıcı tarafından kullanılması ancak uzun bir öğrenme sürecinden sonra mümkün olmaktadır. Araştırmamızda fiziksel görselleştirmeler ile varmayı öngördüğümüz hedef; veri görselleştirmelerini son kullanıcının daha kolay şekilde anlayabileceği ve etkileşeme geçebileceği bir hale getirmektir.

Ortaklaşa çalışmaya uygun bir sistem geliştirmek projenin ana motivasyonlarından bir diğeridir. Veri analizi görevi literatüre baktığımızda tek bir kullanıcının yaptığı bir çalışma olmaktan çok iki veya daha fazla kullanıcının beraberce çalıştıkları bir görevdir [17]. Geleneksel bilgisayar yazılımları ortaklaşa çalışmayı desteklememektedir, ancak son yıllarda bu konuda farklı akademik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Ortaklaşa çalışma sırasında kullanıcıların birbirlerinin yüzlerini görmeleri uygulamanın kabul görmesi ve başarısı için önemli bir etkendir.

2014 yılında yayımlanan bir çalışmada alttan yansıtmalı bir masa, üzerinde ortak çalışma aktarılmıştır [17]. Bu çalışmadaki özellik farklı kullanıcıların birbirlerinin kişisel çalışma ekranlarını görmelerinin engellenmesidir. Bu tip masaların daha basitleri günümüzde eğlence ve eğitim uygulamalarında kullanılmaktadır. Örneğin, Reactable (rectactable.com) müzik ürünü bu konunun yıllar içinde geldiği gelişmeyi göstermek için önemli bir çalışmadır.

# 3. ÖNERİLEN SİSTEM

Geliştirilen sistem üç ana parçadan oluşmaktadır: Somut etkileşimin sağlanacağı fiziksel İstanbul modelinin üretimi, modelin üzerinde görselleştirilecek materyallerin yansıtılması için projeksiyon kurulumunun yapılması, ve bunları anlamlandıracak sistemin geliştirilmesi.

## 3.1. Fiziksel model ve üretimi

Uygulamanın son halinin hâlihazırdaki laboratuvar ortamına kurulması için gereken ana parça, 3 boyutlu baskı veya CNC işlemesi ile oluşturulmuş somut İstanbul yükseklik haritasıdır. Bu modelin üretiminin yapılabilmesi için, İstanbul'un yükseklik verisinin elde edilmesi gerekmektedir. Yapılan kaynak araştırması sırasında Google Earth, USGS GTOPO30 ve NOAA GLOBE Project yükseklik verileri değerlendirildiyse de İstanbul'un koordinasyonlarını haritalamakta detay seviyesi açısından yetersiz kalmışlardır. Araştırma sonucunda NASA'nın ASTER GDEM V2

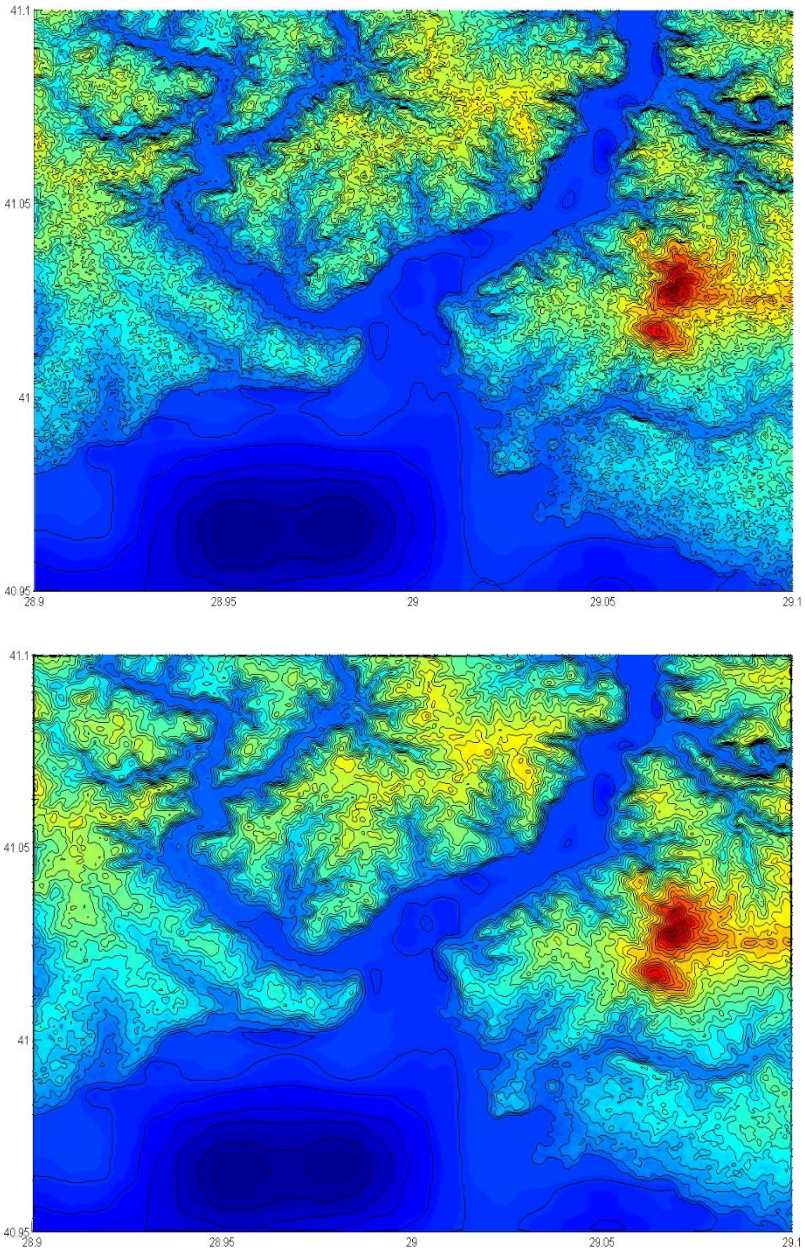
(asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp) verisinin 70$m$ hassasiyet ile Türkiye'yi en detaylı haritalamış veri seti olduğu ortaya çıkmıştır. İstanbul'daki basılacak kapsamı belirleme konusunda ise iki seçeneğimi vardı; ya bütün şehir sınırlarını içeren küçük ölçekli bir kapsam, ya da nüfusun yoğun olduğu merkezi bölgenin büyük ölçekli kapsamı bastırılmalıydı. Ancak görselleştirilecek veriler düşünüldüğünde, merkezi bölgenin veri yoğunluğu açısından daha yararlı olacağı ve büyük ölçeğin algıyı pozitif yönde etkileyeceği düşünülerek, batı ucu Zeytinburnu, doğu ucu Bostancı ve kuzey ucu Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nü içeren bir kapsam seçilmiştir (28.9$W$-29.1$W$, 40.95$N$-41.1$N$).

Sistemin algıda farklılık yaratma ve grup çalışmasını destekleyebilme amacına ulaşabilmesi için basılan ya da üretilen haritanın boyutlarının büyük olması gerekmektedir. Ancak haritanın üzerine yansıtılan görüntünün tavana bağlanmış bir projektörden gelmesi gerektiğinden, üretebileceğimiz masa boyutu laboratuvardaki tavan yüksekliğine ve projektörün teknik özelliklerine bağımlı kalmaktadır. Yansıtılan görüntünün kalitesinin bozulmaması veya üretilen modelden küçük kalmaması için yapılan hesaplamalar sonucu aşağıdaki formül (1) ortaya çıkmıştır ($\Delta$: projektör minimum yansıtma açısı oranı (throw ratio), $\alpha$: projektör en yüksek uzunluk oranı (aspect ratio), $x$: masanın kısa kenarı uzunluğu, $h_i$: $i$ objesinin yerden yüksekliği).

$$h_{projektör} = \Delta * \alpha * x + h_{masa} \quad (1)$$

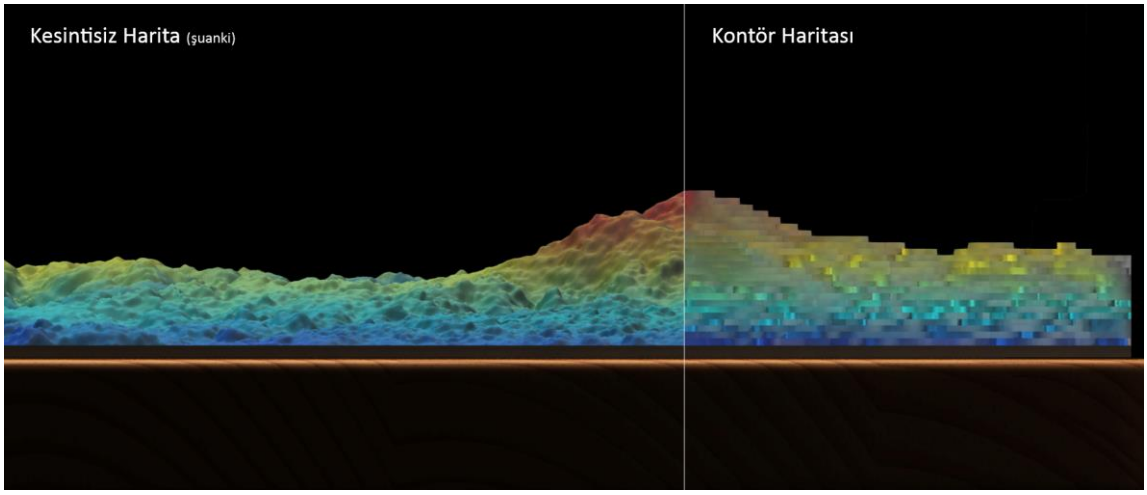
Bu formül, projektörün teknik özellikleri ve kurulumun yapılacağı ortamın bilgileri ışığında, üretilmesi gereken fiziksel İstanbul modelinin kısa kenarının 108$cm$ olması gerektiğini ortaya çıkartmıştır. Yukarıda belirtilen kapsamın uzunluk oranı (aspect ratio) 1.33 olduğundan modelin uzun kenarı da 143$cm$ olacaktır.

NASA verisi elimizdeki seçeneklerin en detaylısı olsa da, modeli büyük ölçekte basılacak boyutta üretebilmek için verinin önceden işlenmeye ihtiyacı vardır. Elde ettiğimiz yükseklik haritası işlenmeden önce çözünürlük kayıpları yaşıyor olsa da, veriyi çok fazla bozmamak adına seçilmiş küçük bir çekirdek (kernel) matrisi kullanan çan eğrisi dağılımı (Gaussian Distribution) metodu sonunda Şekil 1'deki alt görüntüyü elde ederek daha dengeli eş yükseklik yapısına sahip olmuştur.




**Şekil 1.** Ön işlemeden önce (üstte), ön işlemeden sonra (altta)

Öncelik olarak modelin kontör haritası şeklinde bastırılması düşünüldüyse de daha sonra fark edilmiştir ki eğer elimizde gerçek İstanbul yükseklik haritasını andıran daha kesintisiz bir model olursa kontör haritasını projektör yardımı ile yansıtarak sadece özünde bir veri seti olan kontör verisini elde edebilirdik. O nedenle, yukarıda anlatılan model hazırlamadaki veri elde etme ve ön işleme işlemleri önce kontör haritası, daha sonra da daha kesintisiz bir model hazırlamak için tekrarlanmıştır (Şekil 2).

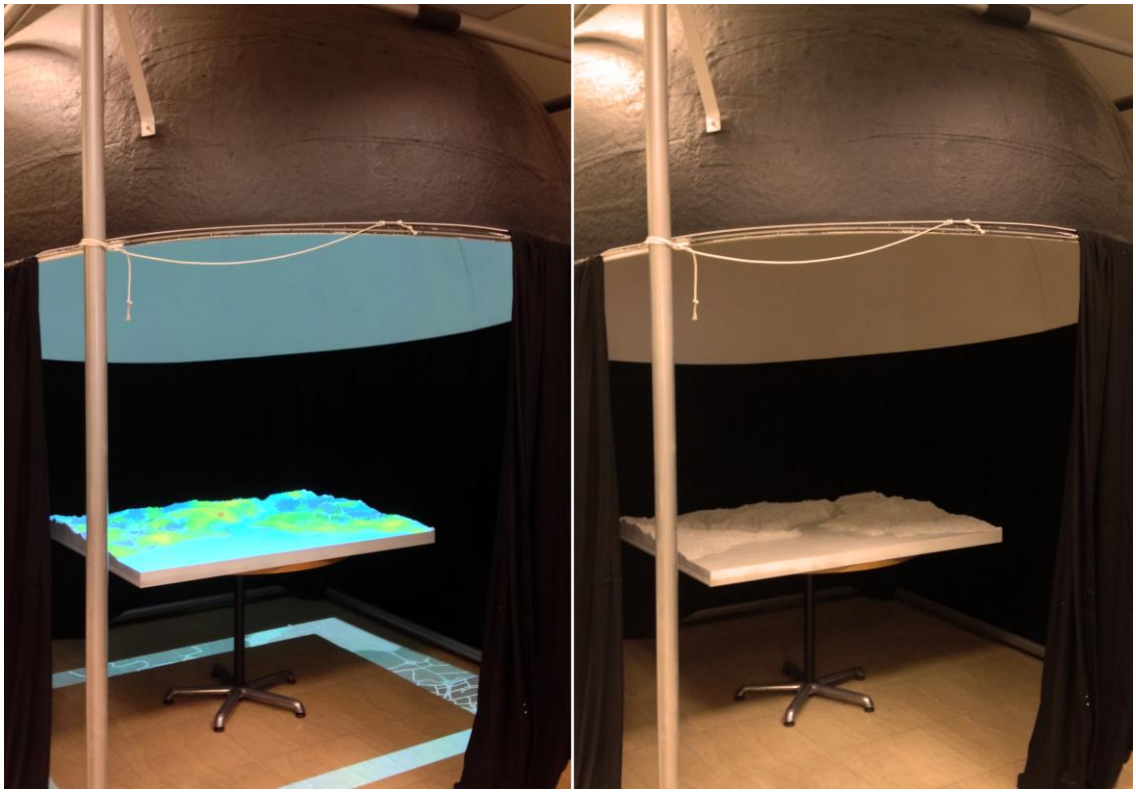



**Şekil 2.** İki modelin karşılaştırılması

### 3.2. Kurulumun yapılması

Maliyet düşünüldüğünde daha makul olan CNC üretimi sonucu üretilen somut ara yüzün kullanımı belirli parametreler tarafından sınırlandırılmaktadır. Öncelikle ara yüzün ve üzerine veri yansıtılacak projektörün sabitlenmesi gereklidir. Bunun ana nedenlerinden biri, daha sonra bu ara yüzün üzerinde koşacak olan yazılımın sabit bir kalibrasyona ihtiyacı olmasıdır.

Projeksiyon ile somut ara yüz arasındaki kalibrasyon, sistemin başarısını doğrudan etkileyeceğinden dikkatli ölçümler sonucunda kurulum yapılacak yükseklik ve yer belirlenmiştir. Laboratuvarımızdaki hâlihazırda bulunan 4 metre çapında mono yansıtmalı görüntüleme kubbesi ışık engelleyici ve izole alanı sayesinde tercih sebebi olmuştur. Üniversite görevlilerin yardımı ile kubbenin ortasına projektör açısı göz önünde bulundurularak bir delik açılmış ve projektör tavanın içine gömülmek sureti ile monte edilmiştir. Projektör haricinde ise, masa kubbenin ortasına hizalanmış ve ortaklaşa çalışmayı desteklemek adına etrafında insanların gezebileceği alanın bırakıldığından emin olunmuştur. Bütün kurulum alanı Şekil 3'te görülmektedir.



**Şekil 3.** Kurulum alanı; projeksiyon açık (solda), kapalı (sağda)

### 3.3. Sistemin geliştirilmesi

Görselleştirmemizin ana elemanlarından biri de hazırlanan somut masayı hayata geçirecek dijital görselleştirme ortamının hazırlanmasıdır. Bu amaca ulaşmak için birçok geliştirme ortamı değerlendirildiyse de uygulamanın doğası kaynaklı problemleri çözmeye yönelik bir yaklaşım en akıllıcasıdır. Bu yaklaşımla mümkün olduğunca düşük düzeyli (low-level) bir ortam kullanmak, sonradan karşımıza çıkabilecek sorunları çözebilmemizde daha derin kod düzenlemesi özgürlüğü tanıyacaktı. Bu önsezi ışığında C++ dili ile modern OpenGL (Open Graphics Library) ardışık dizini (pipeline) kullanılmıştır.

#### 3.3.1. Görselleştirme temeli ve kalibrasyon

Üzerine veri eklenebilecek bir temel hazırlamak ve kalibrasyonu test etmek hususunda İstanbul'un ilçe ve ana yollarının haritası OpenStreetMaps'ten (www.osm.org) çekilerek kullanılmıştır. Platform, herkese açık bir harita servisi yaratarak isteyen herkesin istediği her yeri değiştirip düzenleyebildiği bir haritalama servisidir. Kullanımı ve değişim yapması tamamen bedava olan sistemin bize sağladığı yararlardan en büyüğü, haritanın belirli bir kapsamını sistemin kendine has formatında indirebilmemizdir. Buna ihtiyaç duymamızın nedeni ise satırlı resim (raster image) yerine vektör resim (vector image) kullanmak istememizdir.

Eğer görselleştirmeler satırlı resimler şeklinde hazırlanıp üst üste basılmış olsaydı, yukarıda anlatılan özgürlük çerçevemiz daralıp sorunların çözümünü yeni resim oluşturup ekrana çizmekte aramak zorunda kalacaktık. Ancak şuan, OpenStreetMaps'in bize sağladığı formatı indirdikten sonra çözümlemek ve bu çözümlemeden kendi şekillerimizi oluşturmak yolunu seçmiş bulunmaktayız. Bu sayede katmanlarla çalışmış ve bir değişikliğe ihtiyaç duyduğumuzda yeni resim çizmek yerine hesaba dayalı işlemeler ile düzenlemeleri bilgisayara geçirmiş oluyoruz.

Ancak kullandığımız ortamın desteklediği temel şekil birimi (primitive) üçgen olduğundan OpenStreetMaps'den gelen verileri ekrana ve somut sistem yüzeyine içi dolu poligonlar şeklinde yansıtabilmek için verinin ayrıca bir işlemden geçmesi gerekmektedir. Sistemden çektiğimiz verideki noktalar (vertices) birbirleri ile güzelce bağlanmış olsa da, her ilçe sınırı sadece üç noktadan çok daha fazla nokta içerdiğinden hızlı bir algoritma ile ilçelerin üçgenleştirilmesi sağlanmıştır. Bunun için halat algoritması (sweep line algorithm) ile Voronoi Diyagramı çıkartan Fortune'un algoritması (Fortune's Algorithm) kullanılmıştır. Voronoi diyagramından hareketle oluşturulan Delaunay Üçgenleştirmesi, büyük alanlar için büyük üçgenler, küçük alanlar için ise detayları koruyabilmek adına küçük üçgenler oluşturduğundan en uygun metotlardan biri olmuştur (Şekil 4).



**Şekil 4.** Kadıköy ilçesinin sınırları (solda) ve üçgenlenmiş hali (sağda)

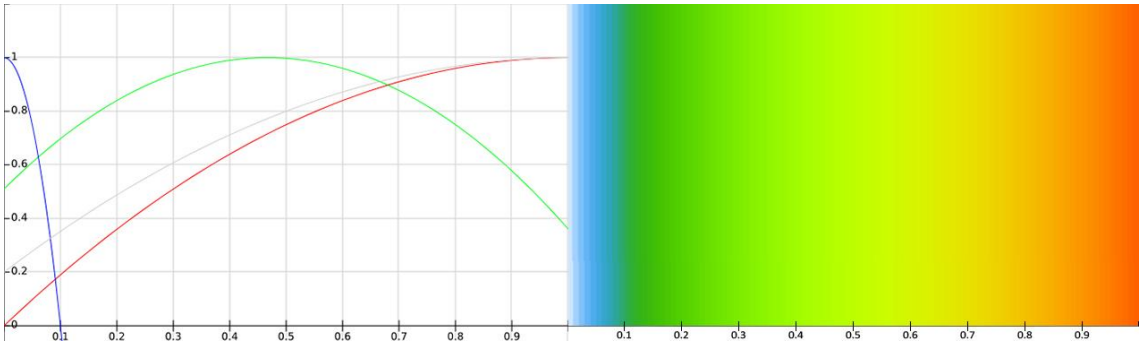
### 3.3.2. Isı haritasının oluşturulması

Sorunsuz bir temel için ilçe ve yol haritası elde ettikten sonra, veri görselleştirmesi için çalışmalara başladık. Bu nedenle, İstanbul sınırları içerisinde kullanabileceğimiz bir konumsal veri araştırmasından sonra, özel bir firmanın paylaşmak istediği konumsal veri ile görselleştirmeye başlayabildik. Görselleştirmenin inşası için verinin önce analiz edilip nasıl bir metot ile görselleştirilmesi gerektiğine karar verme aşamasında bir kaç yöntem denendiyse de, en genel-geçer metot olan ısı haritası (heat map) yöntemini seçmeye karar verdik.

Isı haritasının oluşturulması için öncelikle verinin çözümlenmesi ve tutulması gereklidir. Bunun için bir matris oluşturulup, haritanın kapsamı ve matris boyutu göz

önünde bulundurularak konumsal verinin gerçek iskânının matris üzerindeki izdüşümü hesaplandıktan sonra, elde edilen hücreye (cell) o bölgeye düşen veri olduğunu anlatan bir ekleme yapılır. Daha sonra verinin seyrek olabileceği olasılığı göz önünde bulundurularak matris üzerinde çekirdek dağılımı (kernel distribution) uygulanır. Bu adım seyrek alanlardaki verinin görselde yok olmaması adına kritik bir basamaktır. Daha sonra, en yüksek değerli elemanının değeri göz önüne alınarak matris normalleştirilir. Bu üç ana adımdan sonra elimizde sayısal değerlerden oluşan bir ısı matrisi mevcuttur.

Ancak bu matrisi anlamlı bir şekilde gösterebilmek için renge ihtiyacımız vardır. Bunun için hâlihazırda bulunan renk yelpazelerini kullanmak yerine, yukarıda bahsi geçen matristeki değerlerden faydalanarak özelleşmiş bir renk cetveli hazırladık. Şekil 5'de soldaki görselde matris hücrelerinin yukarıda anlatılan işlemlerden sonra elde ettiği değer ile renk bileşenin değer grafiği gözükmektedir. Her bir eğri kendi renginin renk bileşenine aittir (gri eğri, saydamlık değeridir). Şekil 5'de sağda ise bahsedilen renk değerine karşılık gelen rengin görselleştirme üzerinde nasıl gözükeceği gösterilmiştir.




**Şekil 5.** Matris değerleri ile RGBA bileşenleri (solda), matris değerleri ile renk karşılığı (sağda)

# 4. GELECEK İŞLER

Projenin geleceğinde gerçekleştirmesi düşünülen özelliklerin en başında daha doğal etkileşim yöntemleri gelmektedir. Bunun sağlanması amacıyla hareket sensörü olarak kullanabildiğimiz Microsoft Kinect kullanarak kullanıcıların vücut hareketleri ile uygulamayı kontrol edebilmesi sağlanacaktır.

Daha doğal etkileşim metotlarının yanında, konumsal artırılmış gerçeklilik (KAG) teknikleri kullanılarak çok ekranlı ve somut ara yüzler kullanımına imkân veren görsel veri analiz sistemi kurulacaktır. Bu sistem şeffaf ekranlar kullanarak, kullanıcının sadece kendi gözünü kullanarak sanal objeleri somut ortam üzerinde görebilmesini sağlamakla kalmayıp, onlar ile etkileşime geçebilmesini sağlayacaktır.

Bunlar haricinde, fiziksel görselleştirme teknikleri ile farklı veri yoğunlukları ve tiplerine uygun veri görselleştirme yöntemleri bulunacaktır. Bu farklı görselleştirme

yöntemlerinin farklı sınıflarının üzerinde en iyi şekilde çalışabileceği değişik somut ara yüz ve etkileşim modelleri tanımlanacaktır.

KAG sisteminin, doğal etkileşim yöntemlerinin toplu çalışmaya uygunluğu ve doğal insan içgüdülerine hitabı için örnek veri setleri hazırlanarak soyut ve somut ara yüzler üzerinde kullanıcı testleri ile başarısı ölçülecektir.

Bu hedeflere ulaşıldığında görsel bilgi birikimi (visual literacy) gerektirmeyen, son kullanıcıların beraberce kullanabileceği, dokunulabilir ve etkileşimli veri görselleştirmeleri kolaylıkla üretilip anlamlandırılacaktır.

# 5. SONUÇ

Günümüzde, her bireyin ürettiği veri miktarı git gide artarken, veri görselleştirme alanı bu artışa karmaşık verilerin anlaşılabilir anlamlarını sunmakta yardım etmektedir. Ancak geleneksel bilgisayar yöntemleri bireysel algıda yeterli seviyedeyse de hiç eğitim almayan kullanıcıların bu sistemlerden anlam çıkartmada güçlük çektiği görülmüştür.

Karmaşık verilerin analizinde, insanların doğuştan gelen algı yeteneklerine hitap eden bir somut ara yüz geliştirilmiştir. Bu sistem, NASA ASTER GDEM V2 verisinin önişleme sonrası halinin CNC ile işlenmesi sonucu oluşan somut İstanbul yükseklik haritası ve görselleştirmelerin yansıtılabilmesi için kullanılacak tavana montelenmiş bir projeksiyondan oluşmaktadır. Sistemin kurulum kısmının haricinde ise, ana yazılımı geliştirerek öncelikle her türlü veri görselleştirmenin temelini oluşturmak suretiyle ilçe ve yol haritaları hazırlanmıştır. Bu haritalar fiziksel harita ile kalibre edildikten sonra, üzerine ısı haritası şeklinde tasarladığımız konumsal veriler yansıtılmıştır.

# 6. KAYNAKÇA

[1] Edward R. Tufte, *The Visual Display of Quantitative Information*, 2nd editio., no. v. 37, nos. 2–4. Graphics Press, 2001.

[2] J. Heer, S. Card, and J. Landay, “Prefuse: a toolkit for interactive information visualization,” *Proc. SIGCHI Conf. …*, 2005.

[3] C. Stolte, D. Tang, and P. Hanrahan, “Polaris: a system for query, analysis, and visualization of multidimensional relational databases,” *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 8, no. 1, pp. 52–65, 2002.

[4] D. Schmandt-Besserat, *How writing came about*. University of Texas Press Austin, 1996.

[5] A. Vande Moere, “Beyond the Tyranny of the Pixel: Exploring the Physicality of Information Visualization,” *2008 12th Int. Conf. Inf. Vis.*, pp. 469–474, Jul. 2008.

[6] Y. Dragicevic, P., Jansen, “List of Physical Visualizations,” 2013. [Online]. Available: http://www.aviz.fr/Research/PassivePhysicalVisualizations. [Accessed: 01-Mar-2014].

[7] “3D Tissue and Organ Printing Project - Sabancı University,” 2014. [Online]. Available: http://www.sabanciuniv.edu/en/3-boyutlu-doku-ve-organ-basım. [Accessed: 01-Mar-2014].

[8] A. Vande Moere and S. Patel, “Analyzing the design approaches of physical data sculptures in a design education context,” *Vis. Inf. Commun. Int.*, 2009.

[9] M. K. Rasmussen, E. W. Pedersen, M. G. Petersen, and K. Hornbæk, “Shape-Changing Interfaces : A Review of the Design Space and Open Research Questions,” pp. 735–744, 2012.

[10] H. Ishii, D. Lakatos, L. Bonanni, and J. Labrune, “Radical atoms: beyond tangible bits, toward transformable materials,” *interactions*, vol. XIX, no. february, 2012.

[11] Y. Jansen, P. Dragicevic, and J.-D. Fekete, “Evaluating the efficiency of physical visualizations,” *Proc. SIGCHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - CHI ’13*, p. 2593, 2013.

[12] S. Stusak and A. Butz, “Can Physical Visualizations Support Analytical Tasks ?,” pp. 5–6.

[13] Y. Jansen and P. Dragicevic, “An interaction model for visualizations beyond the desktop.,” *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 19, no. 12, pp. 2396–405, Dec. 2013.

[14] S. Swaminathan, C. Shi, Y. Jansen, P. Dragicevic, L. Oehlberg, J.-D. Fekete, and others, “Supporting the Design and Fabrication of Physical Visualizations,” in *CHI2014-Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2014.

[15] F. Bara, E. Gentaz, P. Colé, and L. Sprenger-Charolles, “The visuo-haptic and haptic exploration of letters increases the kindergarten-children’s understanding of the alphabetic principle,” *Cogn. Dev.*, vol. 19, no. 3, pp. 433–449, 2004.

[16] M. Wilson, “Six views of embodied cognition,” *Psychon. Bull. Rev.*, vol. 9, no. 4, pp. 625–636, 2002.

[17] R. Lisserman, J. Huber, M. Schmitz, J. Steimle, M. Mühlhauser, "Permulin: Mixed-Focus Collaboration on Multi-View Tabletops." CHI'14, ACM