ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İKİ YÜZEY ARASINDA HACİM HESABI YAPAN PROGRAM

VE ALGORİTMA GELİŞTİRME

Ümit AVCI

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Murat YAKAR

2010, 61 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

Jüri: Yrd. Doç. Dr. Murat YAKAR

Jüri: Yrd. Doç. Dr. Engin KOCAMAN

Büyük yapı, yol ve kanal çalışmalarında kazılacak toprak hacminin hesaplanması, maden işletmelerinde çıkarılan maden miktarının belirlenmesi amacıyla hacim hesabı yapılır. Hacimler genellikle enkesitlerden, eşyükseklik eğrili planlardan, yüzeysel nivelman ölçmelerinden yararlanarak hesaplanır. Bu hesaplar karmaşık ve çok zaman almaktadır. Bu çalışmada, gelişen bilgisayar teknolojisinden yararlanarak program hazırlanması amaçlanmıştır. Bu amaç için öncelikle sayısal model oluşturulmuş ve bu model üzerinden hacim hesabı yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hacim Hesabı, Delaunay üçgenlemesi, SYM (Sayısal Yükseklik Modeli),Yüzey Oluşturma

ABSTRACT
Master Thesis

Software Development For Volume Computing From Two Surface Interval

Ümit AVCI

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Geomatic Engineering Education Branch

Advisor: Assist Prof. Dr. Murat YAKAR

2010, Page 61

Jury: Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

Jury: Assist Prof. Dr. Murat YAKAR

Jury: Assist Prof. Dr. Engin KOCAMAN

In a big constructions, volume calculations of excavation amount of road and waterway projects, volume calculation have been done determination of pit mine volume amount volumes generally have been calculated with cross sections, counter lines, plans and surface levelling measurements. These calculations have been taken more time and complex. In this study preparing to software have been aimed using developing computer technology .
For this aim first of all digital elevation model (DEM) have been obtained and volume calculation have been accomplished with this model.

Key Words: Volume Computing, Delaunay Triangulations,DEM (Digital Elevation Model), Mesh Generation

ÖNSÖZ

‘İki yüzey arasında hacim hesabı yapan program ve algoritma geliştirme’ üzerine yaptığım tez çalışmasında, tez danışmanlığımı üstlenen Yrd. Doç.Dr. Murat YAKAR’a ve bilgilerini esirgemeyen Prof. Dr. Ferruh YILDIZ’ a teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında benden yardımlarını esirgemeyen ve her zaman destek olan sevgili eşim Alime ‘ye ve bütün aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ümit AVCI

2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i

ABSTRACT ii

ÖNSÖZ iii

İÇİNDEKİLER iv

KISALTMA LİSTESİ vi

ŞEKİL LİSTESİ vii

1. GİRİŞ 1

2. KAYNAK ARAŞTIRMA 4

3. TEORİK ESASLAR 10

3.1 YÜZEY TANIMLAMA 10
3.2 ÜÇGENLEME YÖNTEMLERİ 11
3.2.1 DELAUNAY ÜÇGENLEME YÖNTEMİ 16
3.2.2 ÜÇGENLEMEDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR 19
3.3 GRİD FORMATINDAKİ ARAZİ MODELİ 19
3.3.1 UYGUN GRİD ARALIĞININ SEÇİLMESİ 22
3.4 GRİD VE ÜÇGEN BAZLI YAKLAŞIMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI 22
3.5 VERİ ELDE ETME YÖNTEMLERİ 23
3.5.1 Yersel Yöntemler: 23
3.5.2 Fotogrametrik Yöntemler: 23
3.6 SAYISAL ARAZİ MODELLERİNDE ENTERPOLASYON 24
3.6.1 Lineer enterpolasyon 25
3.6.2 Ağırlıklı Aritmetik Ortalamayla Enterpolasyon 27
3.7 HACİM HESAPLARI 29
3.7.1 Enkesitlerden Hacim Hesapları 29
3.7.2 Eşyükseklik Eğrili Planlardan Hacim Hesabı 30
3.7.3 Yüzeysel Nivelman Ölçülerinden Hacim Hesabı 30
3.7.4 Üç Boyutlu Koordinatlardan Hacim Hesabı 31

4. MATERYAL VE METOD 34

4.1 İKİ YÜZEY ARASINDA HACİM HESABI PROGRAM GELİŞTİRME 34
4.2 AKIŞ DİAGRAMI 42

5. UYGULAMA 43

6. SONUÇLAR 53

7. KAYNAKLAR 55

KISALTMA LİSTESİ

SAM	Sayısal Arazi modeli
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TIN	Triangular Irrugular Network
H.Gn.K	Harita Genel Komutanlığı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1-1 Referans düzlemine göre arazi kesiti 3
Şekil 3-1 Üçgen yapısı 12
Şekil 3-2 Optimal üçgenleme örneği 14
Şekil 3-3 Greedy üçgenleme örneği 15
Şekil 3-4 Delaunay üçgenleme örneği 15
Şekil 3-5 Voronoi diyagramı ile Delaunay Üçgenlemesi 17
Şekil3-6 Delaunay üçgenlemesinde daire kriteri 18
Şekil 3-7 Kullanılan grid yapıları 20
Şekil 3-8 Grid yapısı 21
Şekil 3-9 Dörtgen Kafes Ağı 31
Şekil 3-10 Üçgen Prizması ve Koordinat eksenleri 31
Şekil 4-1 Koordinat Giriş Penceresi 34
Şekil 4-2 Yüzey Tanımlama Penceresi 36
Şekil 4-3 Dörtgen Kafes Ağı 38
Şekil 4-4 Tek Yüzeyli Hacim Hesabı Penceresi 38
Şekil 4-5 İki Yüzey Arasındaki Hacim Hesabı Penceresi 39
Şekil 4-6 Üçgen Yüzey Hacim Hesabı Penceresi 40
Şekil 4-7 Program Ana Penceresi 41
Şekil 5-1 Programla Koni Şekli 43
Şekil 5-2 Koni Şeklin grid yüzeyden hacmi 43
Şekil 5-3 Koni Şeklin üçgen yüzeyden hacmi 44
Şekil 5-4 Kazı öncesi çalışma alanı ve plakalar 46
Şekil 5-5 Kazı sonrası çalışma alanı ve plakalar 47
Şekil 5-5 Surfer programı kazı öncesi arazi yüzeyi 48
Şekil 5-6 Surfer programı kazı sonrası arazi yüzeyi 49
Şekil 5-7 AutoCAD Civil 3D 2008 programı kazı önce ve sonrası arazi yüzeyi 49
Şekil 5-8 Lokum programı kafes yüzey parametreleri 51
Şekil 6-1 Hacim hesabında elde edilen sonuçlar 54

1. GİRİŞ

Günümüzde birçok çalışma alanlarında hacim hesaplarına ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle mühendislik projelerinin (yol, inşaat, madencilik vs.) arazi ile ilgili çalışmaları sırasında maliyet hesaplarının yapılabilmesi için kazılacak ve doldurulacak hacimlerin hesaplanması gerekir.

Madencilikde Hacim Hesapları: Madencilik işletmelerinde hacim hesapları önemli bir yer tutar. Maden işlerinde çıkartılacak cevherin açığa çıkarılması için yapılan kazı, yükleme, boşaltma, kesme, dökme ve araziyi gevşetme gibi çalışmalara örtü kazısı veya dekapaj denir(Konuk ve arkadaşları 1992). Dekapaj kazılarının sürekli ölçülmesi sonucu hacimlerin hesaplanarak hak ediş ücretlerinin hesaplanmasında hacim hesabının önemli bir yeri vardır. Kazı öncesi ve sonrası yapılacak iş miktarının hesaplanmasında, işletme sahasındaki rezerv miktarının hesaplanmasında ve imalat haritalarının çıkartılmasında hacim hesabından faydalanılır.

Baraj Yapımında Hacim Hesapları: Enerjinin bu kadar önemli olduğu günümüzde gün geçtikçe daha da barajların önemi artmaktadır. Günümüzün ülke şartlarına göre çeşitli barajlar yapılmaktadır. Bu barajların yapımında haritacılık ve hacim hesaplarına büyük gereksinim duyulmaktadır. Baraj gövdesini oluşturan dolgu zonlarının en kesitlerle miktarlarının hesaplanmasında, baraj için kullanılacak ulaşım ve malzeme taşıma yollarının projelendirilip, kazı dolgu miktarlarının çıkartılmasında, aylık hak ediş miktarlarının tespit edilmesinde de hacim hesaplarından faydalanılır.

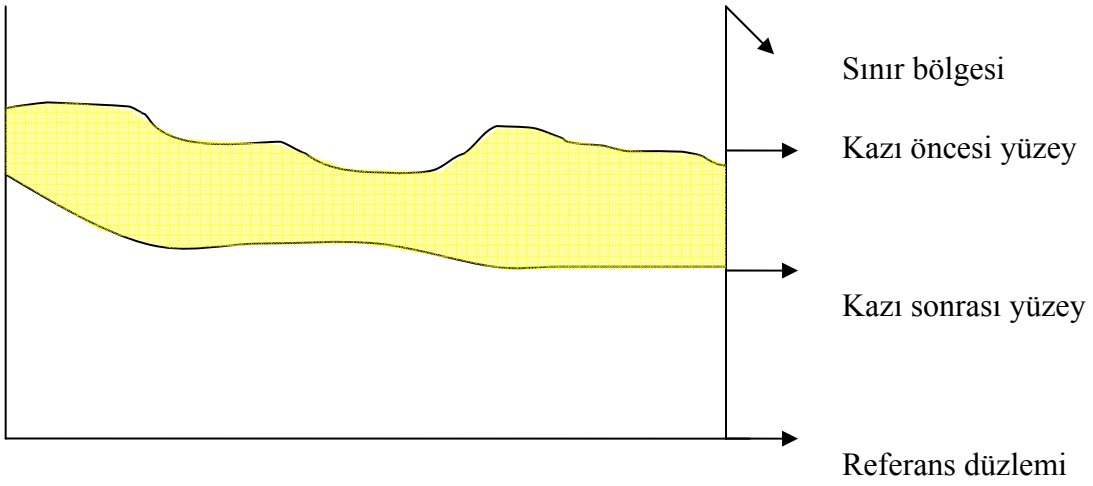
Yol Yapımı Gibi Büyük Projelerde Hacim Hesapları: Ulaşım ihtiyacı günümüzde hızla artmaktadır. Zaman koşullarının gereksinimleri doğrultusunda geniş yollara, viyadüklere, köprü ve tünellere ihtiyacımız artmaktadır. Yolların kotunun belirlenmesinde, köprü ve viyadüklerin yüksekliklerinin hesaplanmasında, tünellerin kazı ve dolgu hesaplarında hacim hesaplarından faydalanılır.

Tüm bu işler için gerekli hacim hesabı oluşturulan matematiksel model üzerinde yapılmaktadır. Ancak matematiksel modelleri var olan nesnelerin hacimleri doğrudan hesaplanabilmektedir. Fiziksel yeryüzü gibi düzgün olmayan yüzeylerin

oluşturduğu nesnelerin hacimlerinin hesaplanmasında zorluklar vardır. Düzgün olmayan bu yüzeylerin bir matematik modele bağlanması gerekmektedir. Bu modellerin oluşturulması için bu modeli tanımlayan tüm noktaların var olması gerekir ki bu da pratikte mümkün değildir. Uygulamalarda bunun yerine yüzeyi temsil eden örnekleme (dayanak noktası veya referans noktası) noktaları kullanılır. Bu noktaların yüzeyi temsil yetisi hacim hesabının hassasiyetini belirlemede faydalı olduğu aşikârdır. Belli sınırları olan bu noktalar kümesi de basit fonksiyonlarla ifade edilebilen düzenli yüzeyler içinde en yaygın olarak kullanılan, düzlem yüzeyleridir. Bu düzlem yüzeyleri çoğu zaman bilinen bir geometrik şekle sahip değildirler. Karmaşık yüzeyler de hesap yapılabilmesi için bu yüzeyleri anlamlı geometrik şekilleri ayırarak, gerçek yüzeyin temsili şeklinin oluşturulması gerekir. Bunun için de en yaygın olarak üçgen, kare ve dikdörtgen şekli tercih edilir. Bilindiği gibi dünya yüzeyi itibariyle tek bir fonksiyonla tam olarak ifade edilemez. Bilinen geometrik şekillerle ifade edilemeyen karmaşık yüzeyleri eş üçgen, kare veya dikdörtgenlere bölmek gerekir. Bu bölme işleminde asıl önemli olan bu geometrik şekillerden hangisinin daha çok yarayacağının ve daha az vakit harcayacağının incelemesi gerekir. Bu aşamada karmaşık bir yüzeyi tarif etmek için kullanılacak basit geometrik şeklin üçgen veya kare olması durumunda sağlayacağı avantaj ve dezavantajları incelenir. Öncelikle karmaşık şeklin üçgenlere bölünme durumu ele alınırsa; tüm yüzey parçaları üçgenlerle ifade edilmelidir. Bu durumda üçgenlerin birbirine göre konumları karmaşık bir hal alacaktır. Bu da algoritma sürecini uzatacaktır. Eş üçgenler alınarak kısmen süreç kısaltılabilmektedir. Üçgenlerin oluşturulurken arazi noktalarının kullanılmasında; hangi noktanın hangi noktayla birleşeceği önemlidir. Gerçek yüzeyin temsili modeli, bu birleşimlerin doğru yapılmasıyla yakından ilgilidir. Çok değişik üçgenleme algoritmaları geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi aşağıda ayrıntılı şekilde anlatılmıştır.

Kullanılan hacim hesabı yöntemi ise genellikle, üçgen yüzeylerin bellili bir referans yüzeyine göre hesaplanması şeklindedir. Üçgen yüzeylerin belli bir referans yüzeyine göre hacim hesabı üçgen prizma ile hacim hesabına benzer. Ancak bu yöntem kullanıldığında üçgen prizmanın alt tabanı kullanıcının belirleyeceği bir referans kotu olarak seçilir. Seçilen referans kotu kazı yapılan arazinin en alt kotu olmalıdır. Kazı öncesi ve sonrası kullanılan arazi modelleri oluşturulur. Bu iki

modelde de seçilen referans kotu aynı olmalıdır. Kazı yapılmadan önceki arazi modelinin referans düzlemine göre toplam hacmi, kazı yapıldıktan sonrakinin toplam hacminden çıkarılarak kazı hacmi hesaplanır. Böylelikle iki yüzey arasında hacim hesabı hesaplanmış olur.



Şekil 1-1 Referans düzlemine göre arazi kesiti

2. KAYNAK ARAŞTIRMA

Yakar ve ark. (2009), fotogrametrik ve lazer tarama yönteminin hacim hesabındaki yerini incelemişlerdir. Seçtikleri kazı bölgesinde her iki yöntemle de hacim hesabı yapmışlardır. Bu iki yöntemi doğruluk, zaman ve maliyet bakımından karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda her iki yönteminde hacim hesapları bakımından kullanılabilir olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Yakar ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada sayısal yersel fotogrametrinin hacim hesaplarındaki performansını araştırmışlardır. Çalışmalarında kullanılacak üç boyutlu fotomodellerin bazen erişilemez bazen de hız gerektiren karmaşık şekillerin hacim hesaplarında ne derece kullanılabilinir olduğunu araştırmışlardır. Bu çalışma için uygun bir kazı alanı seçmişlerdir. Objeleri oluşturacak üç boyutlu fotomodellerin elde edilecek hacimlerini jeodezik teknikler ile elde edilen hacimlerle karşılaştırmışlardır. Elde edilecek sonuçları zaman, maliyet ve hassasiyet bakımından karşılaştıracaklardır.

Yıldız ve ark. (2005), yapmış olduğu çalışmalarda büyük inşaatlarda, yol ve kanal çalışmalarında kazılacak toprak miktarının hesaplanması, maden işletmelerinde çıkarılacak maden miktarının belirlenmesinde hacim hesaplarının yapılacağından bahsetmişlerdir. Yaptıkları araştırmalarda enkesitlerden, yüzey nivelmanı ölçülerinden, eşyükseklik eğrili planlardan faydalanılarak hacim hesabı yapılacağını belirtmişlerdir.

Altan (1971), yazmış olduğu yüksek matematik kitabında dönen cisimlerin hacim ve alanını anlatmıştır. Denklemi $y = fx$ olan bir eğrinin $x = a$, $x = b$ doğruları ve x ekseni arasındaki alanın ox ekseni etrafında döndürülmesiyle oluşan cismin hacmini hesaplamak için matematiksel esas ve formülasyonu çıkartıp örneklerle açıklamıştır.

Yanalak (2005), hazırlamış olduğu çalışmada konuma bağlı bilginin modellenmesi ve bunlar için ara değer üretilmesini araştırmış ve bu konunun yer bilimciler için önemini belirtmiştir. Ölçmecilerin arazi yükseklilerini modellemede kullandıkları yaygın bir yöntemin sayısal arazi modellenmesi olduğunu belirtmiştir. Araştırmasında Enterpolasyon yöntemi Sayısal Arazi Modelinin doğruluğunu

etkileyen bir etken olduğunu araştırmıştır. Yapmış olduğu bu çalışmada en yakın komşu, ağırlıklı ortalama, polinom, multikuadrik, en küçük eğrilili yüzey ve üçgenlerde lineer enterpolasyon yöntemlerini beş teorik test yüzeyi üzerinde test etmiş ve doğruluklarını karşılaştırmıştır. Enterpolasyon noktalarındaki gerçek yükseklik değerleri dolayısıyla gerçek hatalar bilindiği için her bir Enterpolasyon yöntemine ait doğruluk ölçütleri türetmiştir. Türetmiş olduğu bu ölçütler standart sapma, en büyük ve en küçük hata değerleri olduğunu bulmuştur. Doğruluk ölçülerini tablolarda vermiştir ayrıca enterpolasyon yöntemlerinin kolay karşılaştırılabilmesi için tabloları grafik olarak sunmuştur. Sonuç olarak da standart sapmaların değişim aralığını göz önüne aldığında enterpolasyon yöntemlerini aşağıdaki gibi sıralamıştır:

1. En küçük eğrili yüzey enterpolasyonu,
2. Multikuadrik Enterpolasyon,
3. Delaunay üçgenlerinde lineer Enterpolasyon,
4. En yakın komşu enterpolasyonu,
5. Ağırlıklı ortalama ile Enterpolasyon,
6. Polinom enterpolasyonu

En küçük eğrilikli yüzey ve multikuadrik enterpolasyon, yüzeyi bütünüyle ele alan yöntemler olduğu için hesap yükünün fazla olduğunu tespit etmiştir. Multikuadrik enterpolasyonda büyük boyutlu matris tersi en küçük eğrilikli yüzeyde ise çok sayıda iterasyon işlemi gerekmektedir. Bu iki yöntem 1970’ li yıllardan beri bilinmesine karşın söz konusu dezavantajları yüzünden uygulamalarda arka plana atılmıştır. Bilgisayar kapasitesinin artması sayesinde hesap yapmanın kolaylaştığı günümüzden en küçük eğrilikli yüzey ve multikuadrik yüzey modellemeleri konuma bağlı bilginin modellenmesi ve ara değer üretimi uygulamaları için düşünmüştür. Yaptığı bu çalışmada ele alınan araziler 1 hektarlık alanlardır. Araştırmalarında kullandığı bu yöntemler daha büyük boyutlu arazilerde, süreksizlik içeren arazilerde ve şerit şeklinde uzanan farklı veri alanlarında da test edilmelidir demiştir.

Yiğit ve ark. (2003), yapmış olduğu çalışmada GPS/Nivelman ile jeolit ondülasyonları bilinen dayanak noktalarından yararlanarak, Kriging Enterpolasyon yöntemi ile, elipsoidal yüksekliği bilinen noktaların ortometrik yüksekliğinin belirlenmesi için gerekli algoritmaları açıklamışlardır. 28 dayanak noktasından yararlanarak variogram değerleri oluşturulmuş ve Kriging Enterpolasyon yöntemi ile 46 kontrol noktasındaki jeoit ondülasyonları hesaplamışlardır. Hesapla buldukları değerleri multikuadrik ve ağırlıklı ortalama ile hesaplanan değerlerle karşılaştırmışlardır. Yapmış oldukları bu çalışmada Kriging yönteminin jeodezik uygulamalarda kullanımı araştırmışlardır. Enterpolasyon noktasının kriging varyansı, $(Q_{ok}^2) = W^T{}_{yo}$ denklemine göre bulunduğunu belirtmişlerdir. Ağırlıkları belirledikten sonra kriging genel denkleminde çalışma bölgesindeki herhangi bir nokta için Enterpolasyon değeri $Z_p = \sum_{i=1}^{n} W_k Z_i$ formülüne göre belli etmişlerdir. Ağırlıkları ise korvaryans fonksiyonlarından ya da variogram fonksiyonlarından yararlanarak bulmuşlardır. Yaptıkları araştırmalarda çalışma bölgesindeki herhangi bir P noktasında Enterpolasyon değerine ulaşmak için kullanılan dayanak nokta sayısı hesap edilecek ağırlıkların sayısını etkilediğini saptamışlardır. Çalışmalarının sonundaki tespitlerine göre Kriging tekniğinin matematiksel ve istatistik değerlere sahip çok iyi bir yöntem olduğunu bulmuşlardır. Variogram modellenmesinin doğru yapılması durumunda çok iyi sonuçlar vermekte ve elde edilen kestirim varyansları ile rölatif bir karşılaştırma olduğunu fark etmişlerdir. Yaptıkları Çalışmaların uygulama sonuçlarına göre Kriging yöntemi ile kestirimin, iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan multikuadrik ve ağırlıklı ortalama yöntemiyle yaklaşık aynı sonuçları elde etmişlerdir. Bulmuş oldukları kontrol noktalarında kriging yöntemiyle elde edilen ondülasyon değerleri ile gerçek değerleri arasındaki farklardan yararlanarak hesapladıkları karesel ortalama hata, üssel variogram kullandıklarında $\pm$ 2.22 cm, küresel variogram kullandıklarında $\pm$ 2.25 cm ve Gauss variogram modeli kullandıklarında $\pm$ 3.56 cm olduğunu bulmuşlardır.

Yanalak (1991), yapmış olduğu bu tez çalışmasında sayısal arazi modeli hakkında gerekli bilgi verildikten sonra sayısal yükseklik modelinde kullanılan Enterpolasyon yöntemlerini ayrıntılı olarak ele almıştır. Konu edilen yöntemleri aşağıdaki gibi sıralamıştır;

- 2. ve 3. derece polinomlarla enterpolasyon
- Multikuadrik enterpolasyon
- Ağırlıklı aritmetik ortalamayla enterpolasyon
- Kayan yüzey yardımı ile enterpolasyon
- Yüzey toplamları ile enterpolasyon
- Sürekli parça parça polinomlarla enterpolasyon
- Dikdörtgen gride enterpolasyon
- Üçgenler ağında enterpolasyon

Hazırladığı bu tez çalışmasında sayısal arazi modeli uygulamalarında kullanılan üçgenleme yöntemlerinden birisi olan Delaunay yöntemini incelemiştir. Çalışmalarının sonucunda ise grid ve üçgen yöntemlerini karşılaştırmıştır. Sayısal arazi modellerinin doğruluk derecesinin arazinin tipine, dayanak noktalarının konumuna ve kullanılan enterpolasyon yöntemine bağlı olduğunu belirtmiştir. Bu tez çalışmasında son olarak ülkemizde yapılacak sayısal arazi uygulamaları için, çeşitli tiplerdeki arazide, çeşitli nokta dağılım ve yoğunluklarına göre bilinen Enterpolasyon yöntemleri, çeşitli ağırlık ve kovaryans foksiyonları ile bu fonksiyonlardaki sabit katsayıları değiştirerek test etmiştir. Bu testin sonuçlarını doğruluk, maliyet ve zaman bakımından karşılaştırılıp analiz etmiş ve optimum çözüm sonuçları bulmuştur.

Yıldız (1992), hazırlamış olduğu ders notlarında sayısal arazi modellerini anlatmıştır. Harita mühendisliği alanındaki, teorik ve pratik uygulamalarda sayısal yöntemlerin güncellik kazandığından bahsetmiştir. Bu arada özellikle sayısal arazi modeli uygulamaları gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de ilgi uyandırdığına değinmiştir. Yaptığı çalışmaların ilk bölümünde; SAM üretiminde veri toplama ve

işleme yöntemleri ele alınmış; enterpolasyon yöntemleri lojik bir sınıflandırma içinde gözden geçirmiş ve irdelemiştir. Bu arada da eş yükseklik eğrilerinin enterpolasyonu ve çizimi konularına da yer vermiştir. Daha sonra uluslararası alanda büyük çapta kullanılan mevcut SAM yazılımları, yazılım aşamaları, program olanakları açısından incelemiş ve söz konusu yazılımları yararlı ve sakıncalı yönleriyle gözden geçirmiştir. Yaptığı çalışmanın örnekler ve pratik uygulamalar bölümünde ise farklı yazılımlarla geliştirilen sayısal arazi modeline literatürden örnekler vermiş, daha ülkemizde mevcut donanım ve yazılım olanaklarından yararlanarak H.Gn. K.lığında yapılan pratik uygulamaları sunmuş, uygulama sonucunu fotogrametrik çizgisel değerlendirme ile karşılaştırmıştır. Yapmış olduğu bu karşılaştırmada özellikle arazinin strüktür, kırık çizgi doğrularında ve eğimin arttığı bölgelerde farklılıklar gözlemiş olmasına karşın hataların, hata sınırı içinde kaldığını, her iki yazılım ve donanım sisteminde etkin bir kullanım potansiyeline sahip olduğu sonucuna varmıştır. Hazırlamış olduğu kitabının son bölümünde ise genel bir değerlendirme yapmış ve ülkemizde ileriye yönelik uygulamalar açısından kişisel önerilere yer vermiştir. Bu sonuçlara değinecek olursak bazıları şöyledir:

- Sayısal değerlendirme sistemlerinin kullanıma sunulması ile güncellik kazanan SAM' leri günümüzde raster ve üçgenleme olmak üzere iki yöntemle oluşturmuştur. Buna bağlı olarak SAM yazılımları raster ve üçgenleme olarak ikiye ayırmıştır.

- Raster yöntemindeki organizasyonun basit, buna karşın üçgenleme yönteminde daha basit olduğundan bahsetmiştir

- Dayanak noktalarının rastlantısal olduğu durumlarda, raster yönteminde az da olsa bir doğruluk kaybından söz etmiştir. Üçgenleme yönteminde ise eş yükseklik eğrilerini doğrudan dayanak noktalarından hesaplamıştır.

- En küçük kareler ve kayan yüzeylerle enterpolasyonda trend yüzeyi olarak, ikinci dereceden bir yüzeyin kullanımı ile oluşturulan SAM'ın araziyi daha iyi temsil ettiğini gözlemlemiştir.

- Alışılmış yersel ya da fotogrametrik arazi ölçümlerinde arazinin

tepeleri, dereleri daima dayanak nokta ile belirlenmeli, eğer dayanak nokta aralığı çok büyük tutulmazsa, daha az masraf gerektiren enterpolasyon yöntemleri ile çalışılabileceğini önermiştir.

- Kaydedilen noktaların matematik işlemi ne kadar basit tutulursa belirli arazi tipinde yoğun nokta kaydedileceğini açıklamıştır. Günümüzde yüksek depolama hızı ve kapasiteli veri taşıyıcıları fotogrametrik değerlendirme aletlerine bağlandığından rasyonel bir şekilde araziyi temsil eden matematiksel modem kurulması gerektiğini önermiştir.

Güler (1985), Yaptığı uygulama çalışmalarında Multıkuadrik yöntem en küçük kareler yöntemine göre daha iyi bir sonuç verdiğini araştırmıştır.

Hein ve Lenze (1979), Yapılan araştırmada multikuadrik enterpolasyon yöntemi, lineer enterpolasyon, lineer prödiksiyon ve spline enterpolasyon yöntemlerine göre daha doğru sonuç vereceğinden bahsetmiştir.

Üstüntaş (1994), sayısal arazi modellerinde, sayısal arazi modellenmesi ile ilgili problemlerinden, matematik ve sayısal arazi modellerinden, arazi tasvirle melerinden, enterpolasyon yöntemlerinden ve sayısal arazi modellerinde hassasiyet için matematik modellerden çalışmasında bahsetmiştir. Bu yaptığı araştırma ne hassasiyet analizleri inceleme ne de enterpolasyon metodu araştırma konusudur. Araştırmasında farklı veri guruplarından elde edilen düzeç eğrileri ve sayısal arazi modelinin doğruluğunu araştıran bir deney yapmıştır. Selçuk Üniversitesi Kampus alanında elde edilen verilerle Türk SAM yazılımları ile elde edilen düzeç eğrileri ve klasik yöntemle elde edilen düzeç eğrileri arasında karşılaştırmalar yapmıştır. Araştırmalarının sonucunda programların Enterpolasyon yöntemleri ve üçgenleme yöntemlerinin aynı olduğu sonucuna varmıştır.

An ve ark. (2005), maden sahalarında gereksinim duyulan dekapaj işlemlerinde jeodezik çalışmaların büyük önem taşıdığı konusunda çalışmalar yapmışlardır.

3. TEORİK ESASLAR

Günümüze kadar sayısal arazi modellerinin birçok paket program yazılmıştır. Bu yazılan paket programların her biri birbirinden bağımsız olarak yazılmış ve genellikle belirli bir uygulama veya belirli bir bilgisayarda kullanılabilir şekilde ya da farklı programlama dillerinde geliştirilmiştir. Sonuçta ise bu farklılıklara rağmen bunların karakteristik yapıları incelendiğinde bir ya da iki tane temel yaklaşım göze çarpar.

- Yükseklik verileri düzgün grid formatı,
- Rastgele yerlerden seçilmiş noktalardan oluşan üçgen ağları formatı,

şeklinde olabilir.

Programımızda hacim hesabı yapabilmek yüzey modellenmesi gerekmektedir. Bu yüzeyi oluşturmak için örnekleme noktalarından seçilen enterpolasyon yöntemleriyle yüzey modeli oluşturulur. Oluşturulan model kullanılarak modelimizin hacmi hesaplanır.

3.1 YÜZEY TANIMLAMA

Düzenli yüzey; basit matematiksel bir fonksiyonla ifade edilebilen, belirli sınırlar içerisinde kalan sabit doğrultulu ve eğimli noktalar kümesidir. Belli sınırları olan bu noktalar kümesi de basit fonksiyonlarla ifade edilebilen düzenli yüzeyler içinde en yaygın olarak kullanılan, düzlem yüzeyleridir. Bu düzlem yüzeyleri çoğu zaman bilinen bir geometrik şekle sahip değildirler. Karmaşık yüzeyler de hesap yapabilmemiz için bu yüzeyleri anlamlı geometrik şekillere bölerek gerçek yüzeyin temsili şeklini oluşturmamız gerekir. Bunun içinde en yaygın olarak üçgen, kare ve dikdörtgen tercih edilerek kullanılır.

Gerçek arazi yüzeyini temsil için hesap işlerinin kolay olduğu daha küçük üçgen veya dörtgen yüzey parçalarına bölmek gerekmektedir. Bu bölme işleminde asıl önemli olan bu geometrik şekillerden hangi geometrik formun daha yararlı ve daha az vakit harcayacağının incelenmesi gerekir. Bu aşamada karmaşık bir yüzeyi temsil etmek için kullanılacak basit geometrik şeklin üçgen veya kare olması durumunda

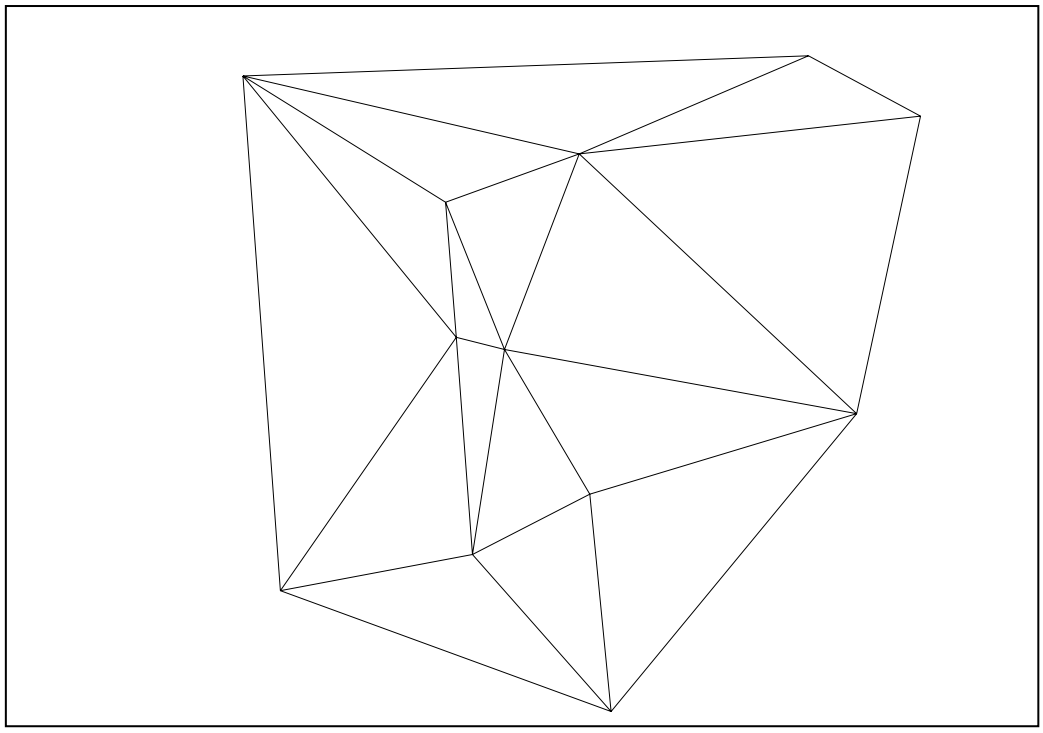
sağlayacağı avantaj ve dezavantajları incelenir.

İlk olarak yüzeyin üçgenlere bölünme durumu ele alınırsa: Tüm yüzey parçaları örnekleme noktaları açıkta kalmayacak ve her nokta bir üçgen köşesi olacak şekilde ifade edilmelidir. Buna rağmen üçgenlerin birbirine göre konumları karmaşık bir hal alacaktır. Bu da algoritma sürecini uzatacaktır. Eş üçgenler alınarak kısmen süreç kısaltılabilmektedir. Bu da veri toplama aşamasında zorluklara sebep olacaktır. Üçgenlerin oluşturulurken arazi noktalarının kullanılmasında; hangi noktanın hangi noktayla birleşeceği önemlidir. Gerçek yüzeyin temsili modeli bu birleşimlerin doğru yapılmasıyla yakından ilgilidir. Çok değişik üçgenleme algoritmaları geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi aşağıda ayrıntılı şekilde anlatılmıştır.

3.2 ÜÇGENLEME YÖNTEMLERİ

Üçgenleme yöntemleri günümüzde hızla yüzey modellemede kullanılmaktadır. Üçgenleme yöntemine ‘Düzensiz Üçgen Ağı (TIN – Triangular Irrugular Network) adı da verilmektedir. Bu yöntemin amacı söz konusu olan yüzeyi üçgenlere bölerek üçgen elemanlarından oluşan bir bütün halinde göstermektir. Üçgenlerin birbiri üzerlerine binmemeleri gerekmektedir.

Üçgenlemenin amacı ise dayanak noktalarını ilişkilendirmektir. Oluşan bir üçgenin kenarını oluşturan iki dayanak noktasının birbirleri ile ilişkili olduğu düşünülür. Bunun sonuncunda ise aynı veri kullanılarak farklı üçgenler ağı oluşturulabilinir.



Şekil 3-1 Üçgen yapısı

Bu üçgenlemelerden bazıları sistematiği ve algoritması kurulabilen üçgenlemeler, bazıları ise bir sistematiği bulunmayan dolayısıyla programlama olanağı olmayan üçgenlemelerdir. Elle yapılan uygulamalarda sistematik olmayan bir üçgenleme algoritması içeren bir yazılıma gerek duyulur. Bu nedenle üçgenleme terimi sistematik olarak modellenebilen üçgenlemeler olarak algılanmalıdır (Yanalak 2001).

Bir TIN yüzeyi aşağıdaki kaynakların bir veya daha fazlasından oluşturulabilir:

- Nokta, çizgi ve poligon verileri,
- Eş yükseklik haritaları,
- Stereo kıymetlendirme verileri,

- ASCII formdaki rastgele dağılmış noktalar,
- Kırıklı çizgi verileri,
- SYM grid yapısı.

Enterpolasyon olarak düşündüğümüzde ise; üçgenlerin enterpolasyonları lineerdir. Bu yöntemde ise modellemesi yapılacak yüzey üçgenlerle temsil edilmekte, kullanılan dayanak noktaları üçgenlerin köşe noktalarını oluşturduğundan yüzey dayanak noktalarından geçmektedir.

Kullandığımız üçgenlerin içinde kalan kestirim noktalarına ait yükseklikler, kullandığımız üçgenlerin köşe noktalarının yükseklikleri yardımıyla değişik fonksiyonlar kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu çözümde en önemli nokta etkin bir üçgenleme algoritmasına ihtiyaç duyulmasıdır.

Üçgenleme yöntemini kullanacağımıza karar verdiğimizde dikkate alacağımız en önemli konu hangi noktaların üçgen ağına dahil edileceğini tespit edilmesidir. Bu durumda ise üçgen ağına alınacak noktalar yeryüzünün karakteristik özelliğinin değiştiği veya eğimde değişmelerin olduğu noktalar olmalıdır. Üçgenlemede kullanacağımız üçgenleri oluşturan bu dayanak noktaları yüzeyin daha iyi modellenmesi için çok özenle seçilmelidir.

Arazinin ani değişim gösterdiği yerlerden olmamalıdır. Üçgenleme yöntemi basit ve ekonomik olması nedeniyle grid veri yapısı için önemli bir alternatiftir.

Modellemede kullanacağımız üçgen ağı şu şartları sağlamalıdır;

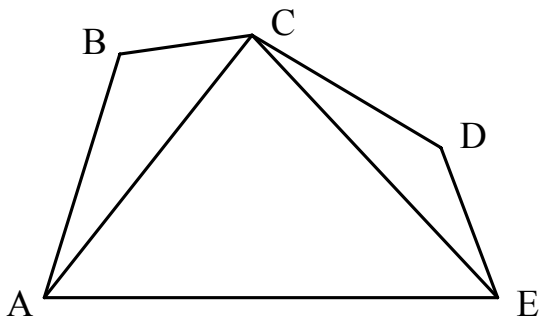
1) Her dayanak noktası en azından bir üçgende bulunmalıdır,

2) Arazi yüzeyini oluşturan üçgenlerin birbiri arasında boşluk olmamalıdır.

Ağı oluşturan noktaların kenarların uzunlukları toplamı minimum olmalıdır. (Çolak ve ark. (1997)).

Amaca bağlı olarak, oluşacak üçgenler ağı da farklı olacaktır. Söz konusu amaçlar ve aralarındaki fark basit bir üçgenleme örneği üzerinde kolaylıkla anlaşılabilir. Şekil 3-2, Şekil 3-3 ve Şekil 3-4 'de 5 dayanak noktası ve bunların 3

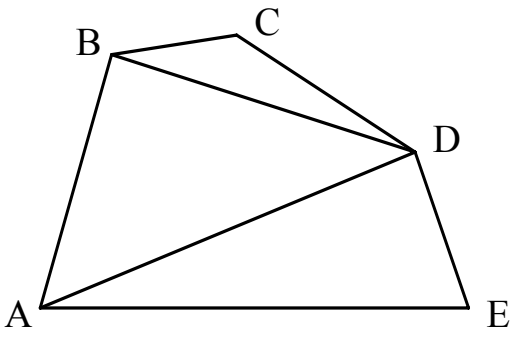
ayrı amaca uygun olarak üçgenlenmiş hali görülmektedir. Her üç üçgenlemede de veri alanını sınırlayan AB, BC, CD, DE ve EA kenarları ortak olarak bulunmaktadır. “optimal üçgenleme” veya “minimum ağırlıklı üçgenleme” diye adlandırılan, kenarlar toplamını minimum yapan üçgenleme AC ve CE kenarlarını kullanmaktadır. Her bir üçgeni oluştururken olası kenarlardan en kısa olan seçilerek yapılan üçgenlemede (Greedy Üçgenlemesi), önce BD kenarı, sonra da geriye kalan ve BD’ yi kesmeyen AD ve BE kenarlarından, daha kısa olan AD kenarı kullanılmaktadır. “Eş açılılık” özelliği diye adlandırılan ilk özelliği gerçekleştirmek için, bu özelliği taşıdığı kanıtlanmış olan Delaunay Üçgenlemesi kullanılmıştır. Bu üçgenlemenin ayrıntıları ileride verilecektir. Delaunay Üçgenlemesi uygulandığında, AC ve AD kenarları kullanılır. Çünkü üçgenlemenin özelliği gereği, oluşan üçgenlerin çevrel çemberi içerisinde başka dayanak noktası yer almamaktadır (Yanalak,2001).



A(0.0, 0.0)
B(1.4, 4.5)
C(3.8, 4.9)
D(7.15, 3.1)
E(8.0, 0.0)

AC =6.20
CE =6.45

Şekil 3-2 Optimal üçgenleme örneği



A(0.0, 0.0) BD =5.92

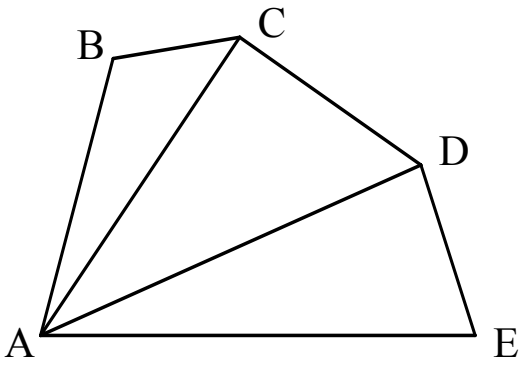
B(1.4, 4.5) AD =7.79

C(3.8, 4.9)

D(7.15, 3.1)

E(8.0, 0.0)

Şekil 3-3 Greedy üçgenleme örneği



A(0.0, 0.0) AC =6.20

B(1.4, 4.5) AD =7.79

C(3.8, 4.9)

D(7.15, 3.1)

E(8.0, 0.0)

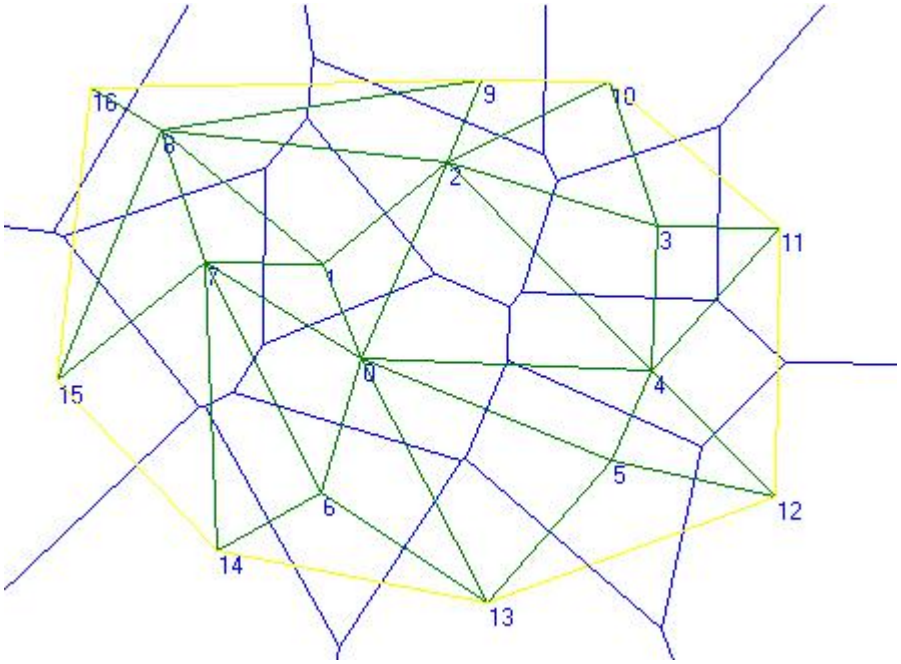
Şekil 3-4 Delaunay üçgenleme örneği

3.2.1 DELAUNAY ÜÇGENLEME YÖNTEMİ

Delaunay tarafından önerilen bu yöntemde arazi, rastlantısal ya da düzgün olarak dağılmış bulunan dayanak noktalarının birleştirilmesi ile düzlem üçgenlerden oluşan çok yüzlü (polihedron) bir yüzeyle kaplanır. Bu yöntemle yapılan ilk çalışmalar, arazi yapısını gösteren çizgiler ve arazinin kırık çizgileri üzerine bulunan dayanak noktalarına, üçgenlemede bir öncelik vermeksizin tüm noktalar aynı nitelikte olduğu varsayımına dayandırılmıştır (Özer, 1988).

Delaunay üçgenlemesi oldukça önemlidir. Bu üçgenlemenin önemini anlamak için Voronia Diyagramının tanımlanması gerekir. Voronoi diyagramı literatürde Dirichlet, Thiessen veya Wigner-Seithz diyagramı olarak da anılmaktadır. Düzlemde yer alan sonlu nokta kümesine ait herhangi bir noktaya, kümedeki diğer noktalardan daha yakın konumda bulunan düzlem noktalarının geometrik yerine o noktanın Voronoi Çokgeni (poligonu) denilmektedir. Bir noktanın Voronoi çokgeni herhangi bir noktayı, kendisine en yakın konumdaki komşu noktalardan ayırmaktadır. Kümedeki tüm noktaların Voronoi çokgenlerinin birleşimi, o kümenin Voronoi diyagramını oluşturur. (Yanalak, 2001)

Şekil 1-6 da bir veri kümesi ve ona ait Voronoi diyagramı görülmektedir. Bu diyagram en yakın nokta problemleri için kullanılan kesin bir yapıdır. Bir noktanın Voronoi çokgeni o noktayı, komşu noktalar denen, o noktayı en yakın konumdaki noktalardan ayırmaktadır. Çokgenin kenarları, nokta ile komşu kenarları birleştiren doğru parçalarının kenar orta diklerinden oluşmakta, her nokta kendisine ait komşu noktalar ile birleştirildiğinde “Delaunay Üçgenlemesi” elde edilmektedir. Şekil de Voronoi diyagramı verilmiş olan kümenin Delaunay üçgenleri görülmektedir



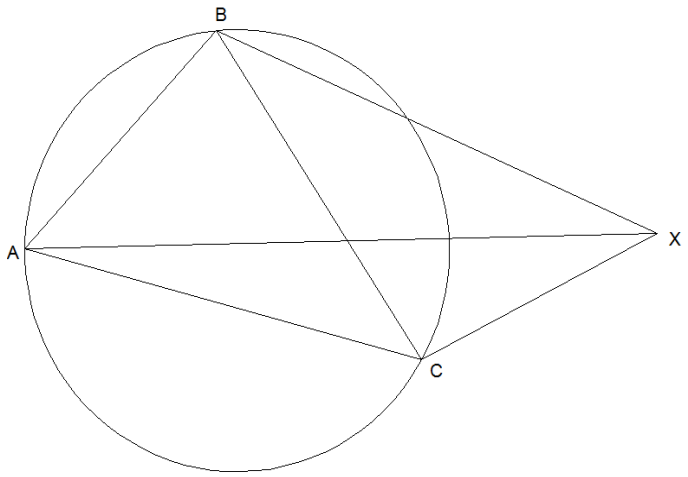
Şekil 3-5 Voronoi diyagramı ile Delaunay Üçgenlemesi

(McAllister ve Snoeyink, 2000)

Dolayısıyla bu noktalar üçgenlerin çevrel çemberinin merkezleridir. Bu merkezler ait oldukları üçgenin içinde olabileceği gibi dışında da olabilirler. Delaunay üçgenlemesinin algoritma Voronoi çokgenlerinin köşe noktaları, üçgenlerin kenar orta diklerinin kesişimiyle bulunan noktalardır. Üçgenler kurulurken birçok araştırmacı tarafından kullanılan en büyük özellik, üçgenlerin çevrel çemberleri içerisinde bir başka noktanın yer almamasıdır. Uygulamada buna daire kriteri adı verilmektedir. Üçgenlemeyi çekici kılan bir başka nokta, oluşan üçgenlerin eşkenar üçgene en yakın üçgenler olmasıdır. Çok dar açılı üçgenlerin oluşumu, dolayısıyla birbirlerine uzak olan ve direkt ilişkisi bulunmayan noktalar arasında doğrusal bir ilişki kurulmasını engellemektedir.

Uygulamada daire kriteri şu şekilde sağlanır. Üçgenin üçüncü köşesi olma olasılığı, bulunan noktalardan birisi (Şekil 3-6 de X noktası) sistematik olarak seçilir. Bu üç noktanın çevrel çemberi içerisinde bir başka nokta olup olmadığı kontrol edilir. Çemberin içerisinde bir başka nokta (şekil 3-6 de B noktası) olduğu

tespit edilirse, belirlenen bu nokta yeni oluşacak üçgenin üçüncü noktası olmaya aday olur. Yeni aday üçgenin çevrel çemberi içerisinde bir başka nokta olup olmadığı kontrol edilir. Bu işlem çevrel çemberin içerisinde nokta kalmayana kadar devam eder ve üçgen oluşur.



Şekil3-6 Delaunay üçgenlemesinde daire kriteri (Yanalak,1997)

Yöntem: Bir poligonal çizgi veya birçoklu doğru, köşe adı verilen nokta dizisi ile tanımlanır ve bu köşeleri birleştiren doğru parçaları kenar olarak isimlendirilirler. Poligon kapalı bir dizidir, son köşesiyle ilk köşesi aynı olan çoklu doğru, poligonu tanımlar. Herhangi bir poligonun orta ekseni, poligonun içinde kalan iki veya daha fazla poligon kenarına teğet olan daire merkezleri kümesidir. Her daire için, merkezi değdiği iki kenara eşit uzaklıktadır.(McAllister ve Snoeyink,2000)

Delaunay üçgenlemesine ait bazı önemli özellikler şunlardır:

1) Bu üçgenleme metodunda kullanılacak olan üçgenler eşkenar veya eşkenara yakın olmalıdır,

2) Dar açılı olmamalıdır. Çünkü birbirinden uzak olan noktalar arasında ilişki kurmak zordur,

3) Kullanılan üçgenlerin çember çevreleri içinde başka bir nokta olmamalıdır,

4) Kullanılan bir nokta kümesinin dışbükey çerçevesi o kümeyi içine alan en küçük çokgendir.

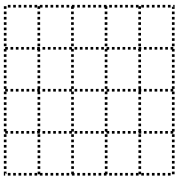
3.2.2 ÜÇGENLEMEDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR

Kullanacağımız üçgenleme algoritmasının istediğimiz gibi verimli çalışabilmesi için çözümlenmesi gereken bazı sorunlar vardır. Kullanacağımız bu algoritma hızlı çalışmalı, istediği bilgi az olmalı ve veri alanı için bir sınır olmalıdır.

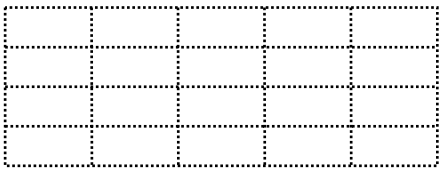
3.3 GRİD FORMATINDAKİ ARAZİ MODELİ

Bir geometrik şekil kare veya dikdörtgen alınması durumunda ise: kareler ağı kurulması üçgenlere göre çok kolay ve hızlıdır. Koordinat sistemine paralel olarak alınan kare veya dikdörtgen şekilli basit fonksiyonlar karmaşıklığı ortadan kaldıracaktır. Bu parçaların alınmasıyla hesaplamalardaki hızı önemli oranda artmaktadır. Çünkü bir önceki kare veya dikdörtgen kendinden sonraki gelen dikdörtgen veya karenin zaten bir kenarını vermektedir. Hatta daha alt ve ara sıralara geçildikçe bilinen parametre sayısı artmaktadır bu da hesaplanacak işlemlerin azalmasını sağlamaktadır. Böyle bir ağın kurulması için başlangıç ve bitiş

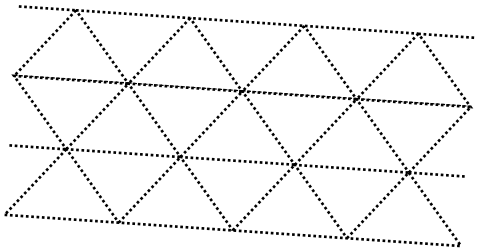
noktalarının koordinatları ile birim aralıkların bilinmesi yeterlidir. Ancak burada ele alınan tanımlama noktalarının uygun bir enterpolasyon yöntemiyle oluşturulan kareler ağının köşe noktalarına aktarılması öne çıkmaktadır. Bu kadar kolaylığın yanı sıra kare veya dikdörtgenle oluşturulacak düzlemlerin kare veya dikdörtgeni temsil etmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Oluşturulacak yüzeyin en küçük parçası geometrik şekil olarak kare veya dikdörtgen alınmasıyla şekildeki esneklik kaybolmaktadır. Bu düzlemdeki esnekliği sağlamak için en küçük parça olarak üçgenin alınması zorunlu hale gelmektedir. Şimdi ise grid yöntemini ayrıntılı bir şekilde inceleyelim.



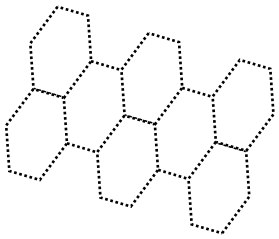
Kare Grid Ağı



Dikdörtgen Grid Ağı



Üçgen Grid Ağı



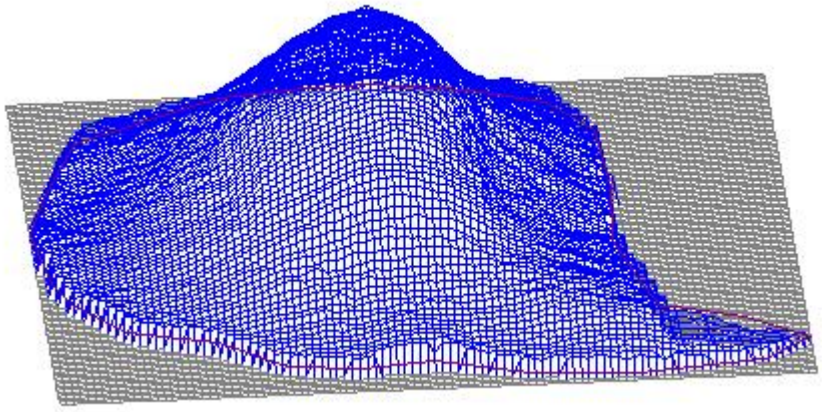
Altıgen Grid Ağı

Şekil 3-7 Kullanılan grid yapıları

Yüzey modellemede en basit yaklaşım yüzeyi oluşturan noktaların grid köşelerinde seçilmesi ve bu noktalara ait bilgilerin ölçülmesi ya da toplanmasıdır. Bunların yanı sıra modellenmesi yapılacak araziyi temsil eden kritik noktalara ait bilgiler de toplanabilir. Bu tercih edildiğinde ise rastgele konumdaki veriyi grid konumdaki veriye dönüştürmek gerekmektedir.

Başka bir yönüyle grid yapısındaki veri noktalarının dağılımı, arazi karakteristiği ile ilgili değildir. Eğer veri nokta örneklemesi grid formunda düzenlenecek ise nokta yoğunluğu arazinin özelliğini gösterecek doğrulukta olmalıdır. Bu şekildeki bir uygulamada da modelde birçok yerde veri fazlalığı olacaktır. Bunun için arazi modeli oluşturmadan önce ön işlem olarak ölçülmüş veriler filitrelenmelidir (Petrie, Kennie, 1986).

Bu işlemlerde karşılaşacağımız en önemli problemlerden biri de grid noktasal değerlerinin tahminidir. Kullanılan ölçüm noktalarından yaralanarak grid nokta değerlerinin bulunması için birçok yöntem kullanılmaktadır.



Şekil 3-8 Grid yapısı

Diğer bir yöntem olan grid yönteminde modellenecek arazi üzerine gridler yerleştirilir ve kullanacağımız bu gridlerin düğüm noktalarının yükseklikleri hesaplanır. Bu yöntemlerden hiçbirinin yüzeyi tamamen yansıttığı söylenemez. Ve hangi yöntemin daha iyi olduğu, modellenecek araziyi daha iyi yansıttığı netleşmeyen bir husustur.

3.3.1 UYGUN GRİD ARALIĞININ SEÇİLMESİ

Sayısal arazi modellerinde dikkat edilecek önemli konulardan biri de kullanacağımız gridlerin aralıklarını seçmektir. Modellemek istediğimiz arazi gridleme yöntemi ile elde edildikten sonra elde edeceğimiz ürünler grid veriye dayanmaktadır. Bundan dolayı araziyi iyi bir şekilde yansıttığı düşünülür. Günümüze kadar gelen bu uygulama için yapılan çalışmalarda, kestirim yapılacak grid nokta sayısının, dayanak noktasına eşit olduğu tespit edilmiştir. Ancak dikey ve yatay olarak toplanan veri kümelerinin gridlenmesinde, tespit edilen bu yaklaşım olumlu sonuç vermemektedir. Bu nedenle kullanılan diğer bir yöntem kullanılacak grid aralığının, iki dayanak arasındaki en yakın iki nokta arasındaki mesafenin en fazla yarısı kadar olması tespit edilmiştir.

3.4 GRİD VE ÜÇGEN BAZLI YAKLAŞIMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Grid;

- Grid enterpolasyon tekniği yöntemiyle çok kolay organize edilmesi ve grid yüksekliklerinin ölçülmesi kolaylaşmıştır.
- Kullanılacak bir gridin yeni yükseklik değerleri kolayca hesaplanır.
- Diğer bakış acısı ise kullanılacak bir gridin tamamının veri bilgileri depolanmak zorundadır.
- Düzgün aralıklarla kullanılan bir gride kırık çizgilere ait bilgiler bulunmamaktır.
- En çok karelerin kullanılması durumunda hesabın yapılacağı süre denklemin büyüklüğüne bağlıdır.

Üçgenleme;

- Üçgenleme yönteminde kullanılacak dayanak noktalarının rastgele olmaları bir zorluk sağlamaz, aksine kullanılacak dayanak noktalarının ölçümünü kolaylaştırır.
- Modellenmesi yapılacak arazi üçgenleme yöntemiyle daha ayrıntılı bir

şekilde modellenir.

- Modellenecek arazinin yapısı ve yüzeyi doğrudan dikkate alınır.
- Kullanılacak veri gereksinimi gride göre oldukça azdır.
- Bu yöntemin organizasyonu gride göre daha karmaşıktır. Ancak günümüzdeki bilgisayarlar sayesinde bu sıkıntıda ortadan kalmaktadır.

3.5 VERİ ELDE ETME YÖNTEMLERİ

Bundan sonraki aşamada kullanacağımız verileri nasıl elde edeceğimiz önemli bir konudur. Modellenmek istenen düzlemi oluşturacak basit geometrik şeklin tercih ettiğimiz yönteme göre ne olacağına karar verilir. Veri elde etme yöntemlerinin en önemli üç tanesi ise:

3.5.1 Klasik Jeodezik Yöntemler:

Bu yöntemde hesaplanacak yüzey için araziye çıkılır. Arazi yüzeyini temsil edebilecek karakteristik noktalar yeterli sıklıkta klasik jeodezik yöntemlerle zeminde okunur. Elde edilen bu veriler seçilen yöntemin özelliğine göre uygun bir metod kullanılarak hesaplanır. Buradaki çalışmada karakteristik noktalar yeterli sıklıkla arazide okunur. Bu yöntem kare grid ağı için pek tercih edilen bir yöntem değildir. Genellikle üçgenleme yönteminde tercih edilir.

3.5.2 Fotogrametrik Yöntemler:

Bu yöntemle modellenmek istenen yüzey fotoğrafları çekilir. Hava fotoğrafı veya yersel fotogrametri yöntemi tercih edilebilir. Fotogrametrik yöntem bizim işimizi oldukça kolaylaştırmaktadır. Çekilen bu fotoğraflarla istediğimiz şekilde sıklaştırmalar yaparak hassasiyeti arttırabiliriz. Bu yöntemde genellikle kare veya

dikdörtgenler kullanılmaktadır. Bu sayede fazladan kullanılacak her bir arazi noktası yerine, n sayıda yeni noktanın yüksekliğini enterpole etmek, bilgisayar belleğinde yer kazanmak ve işlem azlığı açılarından çok daha yararlıdır.

3.5.3 Lazer Ölçme Aletleriyle Veri Toplama Yöntemi:

Lazer ölçme aletleri lazer ışın demetinin cisme gönderilmesi ile alıcı ve verici arasındaki mesafe sinyalin gönderilmesi ve alınması arasında geçen zaman farkından hesaplanır. Bu yöntem elektronik takeometrelerde de bu şekilde kullanılmaktadır. Bu aletlerdeki fark elektronik takeometrelerde ki gibi tek ışın yerine yüzlerce ışının bir anda gönderilip ölçülecek yüzeydeki bir objenin yüzeyinden yansıdıktan sonra alıcıdan toplanılması ile sinyallerin işlenilmesinden oluşmaktadır. Ölçülecek objenin yüzeyi seçilen tarama aralıklarıyla lazer ölçme aletiyle otomatik olarak taranmaktadır. Aletin hafıza biriminde toplanan her noktaya ait eğik uzaklık yatay ve düşey olmak üzere iki açı ölçüleri kaydedilerek ölçülen objeye ait üç boyotlu koordinatlar hesaplanabilmektedir. Hesaplanan bu nokta bulutu ölçülecek objenin yüzeyinin oluşturulmasında dayanak noktası olarak kullanılacaktır.

3.6 SAYISAL ARAZİ MODELLERİNDE ENTERPOLASYON

Sayısal arazi modellerinde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinden ve bunların karakteristik özelliklerinden bahsedilecektir.

Enterpolasyon, (x.y.z) dayanak nokta kümesi ile verimli olan bir alan içinde ya da bu kümenin bir alt kümesi ile sınırlandırılan arazi içinde herhangi bir (x,y) konumuna sahip noktanın (Z) değerinin belirlenmesidir. Bu ifade;

$Z = F (x, y, x_i, y_i, z_i)$ dır.

Burada çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılır. Kullanılan yöntemlerin bir bölümünde ölçülen ilk yükseklik değerleri hatasız kabul edilir, bazılarında ise belirli bir dengeleme ya da düzensiz hataların filtrelemesi yapılır. Kullanılan yöntem ne

kadar uygun ise hesaplanan (Z) değeri ile gerçek arazi yüksekliği arasındaki fark o kadar küçük olur. Yani kısacası (Z) değeri ne kadar gerçek arazi yüksekliğine yaklaşırsa sayısal arazi güvenliği de o kadar artar.

3.6.1 Lineer enterpolasyon

Enterpole edilecek noktaların yüksekliği, bu noktaya en yakın, en az üç dayanak noktasının koordinatları yardımı ile katsayıları aşağıdaki polinom yardımıyla elde edilir.

$$Z= a_0 + a_1x + a_2y$$

Matris formu ile;

$Z =A.X$ $X= A^{-1} Z$

Burada;

$X=[a_0\ a_1\ a_2\ ]^T$ bilinmeyen vektörü olmak üzere,

$Z=[z_0\ z_1\ z_2]^T$ dayanak noktalarının yükseklik değerlerinin vektörüdür.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ . & . & . \\ . & . & . \\ 1 & x_n & y_n \end{bmatrix}$$

A matrisi dayanak nokta koordinatları ile oluşturulan katsayılar matrisidir. Enterpole edilecek noktaların koordinatlarının başlangıç değeri (0,0) olarak alınabilir.

Enterpole edilecek noktaların koordinatları (0,0) olarak alındığından, aranılan yükseklik değeri " a_i " katsayısı olur. Koordinat başlangıç noktası 0 alınırsa afin dönüşümüne gerek kalmaksızın " a_i " katsayıları

$a_0 = z_1$

$a_1 = [(y_2-y_3)z_1+y_3z-y_2z_3]/(x_2y_3-x_3y_2)$

$a_2 = [(x_2-x_3)z_1-x_3z_3-x_2z_3]/(x_2y_3-x_3y_2)$

$z=[1\backslash(x_2y_3-x_3y_2)].\{[(x_2y_3-x_3y_2)+(y_2-y_3)+(x_3-x_2)y]z_1+(y_3x-x_3y)z_2+(x_2y-y_2x)z_3\}$

Burada zi 'in katsayılarına ağırlık fonksiyonları olarak bakılabilinir. Böylelikle yerel koordinat sistemlerinde koordinatları x,y olan bu düzlem üzerinde bulunan bir noktanın yüksekliği,

$$z = \sum_{i=1}^{3} W_i(x,y)\, z_i$$

ile bulunabilir.

$W_i(x,y)$ ağırlık fonksiyonları,

$W_1(x,y) = [(x_2y_3-x_3y_2)+ (y_2-y_3)x+(x_3-x_2)]/(x_2y_3-x_3y_2)$

$W_2(x,y) = [(y_3x-x_3y) /(x_2y_3-x_3y_2)]$

$W_3(x,y) = [(x_2\, y-y_2\, x) /(x_2y_3-x_3y_2)]$

ile ağırlık fonksiyonları hesaplanır.

Örnekleme noktalarının düzensiz dağıldığı durumlarda, enterpolasyon yüzeyinin doğruluğu üçgen ağının oluşturulmasına bağlıdır. Farklı bölümlemeler, sonuçlarda ciddi farlılıklar oluşturur.

3.6.2 Ağırlıklı Aritmetik Ortalamayla Enterpolasyon

İlk olarak Laurer tarafında kullanılması önerilmiş olan bu yöntemde, Enterpolasyon noktasının yüksekliğini, çevresinde bulunan arazi noktaların yüksekliklerinden ağırlıklı olarak hesaplanır. Her bir dayanak noktasının yüksekliğine verilecek olan ağırlık değeri o noktanın enterpolasyon noktasına olan uzaklığının bir fonksiyondur.

Bir enterpolasyon noktasının yüksekliği:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i z_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$$ eşitliğiyle bulunur.

Açıkça yazmak gerekirse,

$$z = \frac{\left| W_1 \times z_1 + W_2 \times z_2 + \ldots + W_n \times z_n \right|}{\left| W_1 + W_2 + \ldots + W_n \right|}$$

olur.

Matris gösterimiyle,

$$z = \frac{Wz^T}{Wu^T}$$

yazılır.

Burada, W = (W_1,W_2,…,W_n) Ağırlık vektörünü ,u birim vektörü, z arazi noktalarının yükseklik vektörünü gösterir.

Ağırlık fonksiyonu olarak,

$W_i = [(x_i-x_o)^2 + (y_i-y_o)^2]^{-k}$ (xo, yo) noktası enterpolasyon noktasıdır.

Kullanılacağı gibi,

$W_i(S) = e^{-s^2/k^2}$ Şeklinde Gauss fonksiyonu da kullanılabilir

Dayanak noktası sayısı arttıkça, her bir enterpolasyon noktası için yapılacak işlem sayısı da artacaktır. n tane arazi noktası düşünürsek, her bir enterpolasyon noktası için n adet ağırlık hesabı m enterpolasyon için (n*m) adet ağırlık hesabı gerekir. Örneğin; n=1000, m=1000 olduğunu varsayarsak, 1 milyon kez hesap gerekecektir.

Bu kadar yüklü işlemden kaçınmak için, her bir enterpolasyon noktasının yüksekliği, o noktasının çevresinin çizilen "kritik daire" içinde kalan arazi nokta yüksekliklerinden hesaplanır. Daire yerine kare veya dikdörtgen de kullanmak mümkündür.

Daire dışında kalan arazi noktaları hesaba katılmaz. Bu nedenle kritik daire büyüklüğünün seçimi önemlidir. Yöntemin uygulanacağı arazi büyüklüğüne göre farklı büyüklüklerde kullanılabilinir.

Ağırlıklı ortalamanın nümerik açıdan bir sorunu yoktur. Hesaplama zamanı, her bir ara noktanın hesaplamasında kullanılan örnekleme noktası sayısına göre değişir. Eşit aralıklarla dağılmış örnekleme noktaları ve buna benzer dağılımda ara noktalar için, ağırlıklı ortalama (k=2 kullanılarak) lineer enterpolasyondan daha yavaş, ancak en basit üçüncü dereceden bir polinomsal enterpolasyondan daha hızlıdır. Çok az bir bilgisayar belleği ile işlemler yürütülebilir. Uygun şekilde kullanıldığında; rastgele dağılımdaki örnekleme noktaları kullanımında oluşacak kenarlaşma hataları, ek bir çabayla düzgünleştirilmiş çıkışlar elde edilerek kontrol altına alınabilir. Bu yöntemin en üstün yanıdır. Sayısal arazi modellemesinde düzensiz dağılımda örnekleme

noktaları olması durumunda ve morfolojik çizgilerin işleme katılması istenildiğinde etkin bir şekilde kullanılabilinir. Çok yüksek doğrulukta veri elde edebilmek istenildiğinde kullanılmaz.

3.7 HACİM HESAPLARI

Büyük inşaatlarda, yol ve kanal çalışmalarında kazılacak toprak hacminin hesaplanması, maden işletmelerinde çıkarılan maden miktarının belirlenmesi amacıyla hacim hesabı yapılır. Hacimler genellikle enkesitlerden, eşyükseklik eğrili planlardan, yüzeysel nivelman ölçmelerinden yararlanarak hesaplanır.

Bir yer yüzeyi üçgen dörtgen ve benzeri kafes sistemlerine ayrılarak prizmalar yardımıyla hacim hesaplanabilir. Ayrıca takometrik alımdaki kutupsal koordinatlardan ya da fotogrametrik değerlendirme sonucu elde edilen x, y, z koordinatlarından da yararlanılarak hacim hesapları yapılabilir.

3.7.1 Enkesitlerden Hacim Hesapları

Yüzey parçasından alınan iki enkesit alanı f1 ve f2 için hacim ortalama alanlara göre;

$V=(f_1+f_2)/2*L$ şeklinde hesaplanır.

Kesitler arasındaki mesafe L olmak üzere ikiden fazla kesit arasındaki hacim;

$V=(F_i +2nF_m+F_s) *L/2$ şeklinde hesaplanır.

F_m= İlk ve son kesitler hariç kesit alan ortalanması

n = İlk ve son kesitler hariç kesit sayısı

F_i= İlk kesit alanı

F_s= Son kesit alanı

L = Kesitler arasındaki mesafe

Yüzeyden alınan üç kesit alanı f_1, f_2 ve f_3 için ilk ve son kesit arasındaki hacimler;

$V=(F_i +F_o+F_s)*2L/3$ $V = F_o*2L$

eşitlikler yazılır ve her iki eşitlikten bulunan değerlerin ortalaması alınırsa;

$V= (F_i +4F_o+F_s) /3$ (Simpson Formülü)

eşitliği elde edilir.

Arka arkaya gelen kesitler aynı özellikli (dolgu veya yarma) veya kesitin kendi içinde çeşitli olması durumlarında ise kesitler arasındaki L mesafesine oranlanarak hesap yapılır.

3.7.2 Eşyükseklik Eğrili Planlardan Hacim Hesabı

Eşyükseklik eğrili planlardan hacim hesabı enkesitlerle hacim hesabına benzemektedir. Kullanılan bağıntılar burada da geçerlidir. Burada en kesit alanlarının yerini eşyükseklik eğrilerinin çevrelediği alanlar, enkesitler arasındaki uzaklığı eşyükseklik eğrileri arasındaki yükseklik farkları almaktadır.

3.7.3 Yüzeysel Nivelman Ölçülerinden Hacim Hesabı

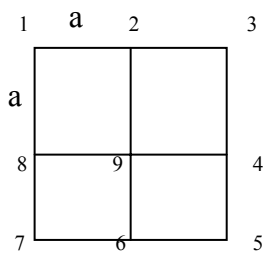
Yüzey nivelmanın da arazi üçgen, kare veya dikdörtgenlerden oluşan kafeslere ayrılır. Kafeslerin köşe noktalarının yükseklikleri ve konumları belli olduğu için verilen taban kotuna göre üçgen, kare veya dikdörtgen prizmalardan yararlanılarak hacim hesaplaması yapılır.

$V= F' * (h_1+h_2+h_3) /3$ Üçgen prizmanın hacmi;

$V= F'' * (h_1+h_2+h_3+h_4) /4$ Dörtgen prizmanın hacmi;

Kare ağlarıyla örtülü bir cismin hacmi;

$V = a\,2\,(\sum h_E + 2\sum h_R + 4\sum h_i)$ ile hesaplanabilir.



h_E = dış köşe yükseklikleri (1,3,5,7)

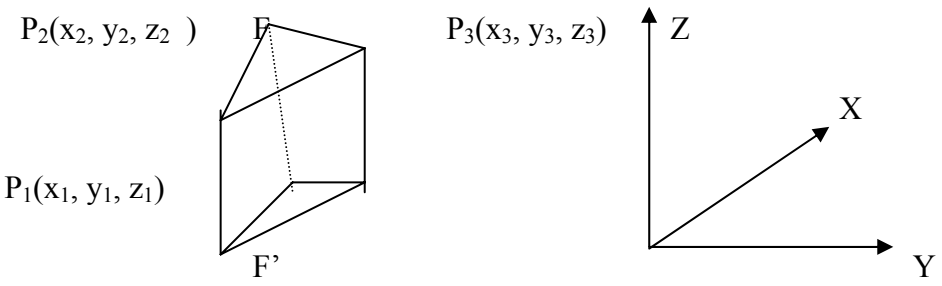
h_R = dış kenar yükseklikleri (2,4,6,8)

h_i =i ç yükseklik (9)

Şekil 3-9 Dörtgen Kafes Ağı

3.7.4 Üç Boyutlu Koordinatlardan Hacim Hesabı

Yüzeyin köşe noktalarının üç boyutlu koordinatları belli olduğuna göre belli bir taban kotuna kadar olan hacmin, üçgen prizmalar veya ağırlık merkezinden yararlanılarak hesaplanılabilinir.



Şekil 3-10 Üçgen Prizması ve Koordinat eksenleri

F üst yüzey alanı vektörel çarpımın özelliklerinden yararlanılarak hesaplanabilir. Bilindiği gibi iki vektörel çarpımı bir vektördür. Bu vektör $\overrightarrow{P_1P_2}$ $\overrightarrow{P_1P_3}$ vektörlerinin oluşturduğu düzleme diktir. Çarpım vektör uzunluğu $\overrightarrow{P_1P_2}$ ve $\overrightarrow{P_1P_3}$ vektörlerinin oluşturduğu paralel kenar alanına eşittir.

$\Delta X_2=X_2-X_1$ $\Delta X_3=X_3-X_1$

$\Delta Y_2=Y_2-Y_1$ $\Delta Y_3=Y_3-Y_1$

$\Delta Z_2=Z_2-Z_1$ $\Delta Z_3=Z_3-Z_1$

olmak üzere,

$$\overrightarrow{P_1P_2} \wedge \overrightarrow{P_1P_2} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ \Delta X_2 & \Delta Y_2 & \Delta Z_2 \\ \Delta X_3 & \Delta Y_3 & \Delta Z_3 \end{bmatrix}$$

$$\overrightarrow{P_1P_2} \wedge \overrightarrow{P_1P_2} = (\Delta Y_2\,\Delta Z_3 - \Delta Z_2\Delta Y_3)i - (\Delta Z_2\Delta Y_3 - \Delta Z_2\Delta X_3)j + (\Delta X_2\Delta Y_3 - \Delta Y_2\Delta X_3)k$$

Olmak üzere

$$F = \frac{1}{2}\sqrt{(\Delta Y_2\,\Delta Z_3 - \Delta Z_2\Delta Y_3)^2 + (\Delta Z_2\Delta Y_3 - \Delta Z_2\Delta X_3) + (\Delta X_2\Delta Y_3 - \Delta Y_2\Delta X_3)^2}$$

ile hesaplanır.

Alt alanı hesaplamak için;

$Z_1= Z_2 = Z_3$ olduğu dikkate alınırsa;

$\Delta Z_2=0$ $\Delta Z_3=0$ olduğundan

$F'=(\Delta X_2\, \Delta Y_3- \Delta Y_2\, \Delta X_3)/2$ olur.

Z_B indirgeme yüksekliği olmak üzere,

$V =F'(Z_1+ Z_2+ Z_3-3\, Z_B)$ yazılabilir

Üçgen prizmaların sayısı n ise;

$$V_{top} = \sum_{k=1}^{n} V_k$$ olur.

Aynı indirgeme düzlemine iki durum arasındaki fazla hacim;

$V_{fark} = V_f = V_ü - V_a$

Üst ve alt üçgen yüzeyleri ağırlık merkezinin yüksekliklerinden yararlanılarak hacim hesaplanabilir.

z_i = üst üçgen yüzeyinin ağırlık merkezinin yüksekliği

z'_i = alt üçgen yüzeyinin ağırlık merkezinin yüksekliği

$z_i=(z_1+ z_2+ z_3)/3$; $z'_i = (z'_1+ z'_2+ z'_3)/3$

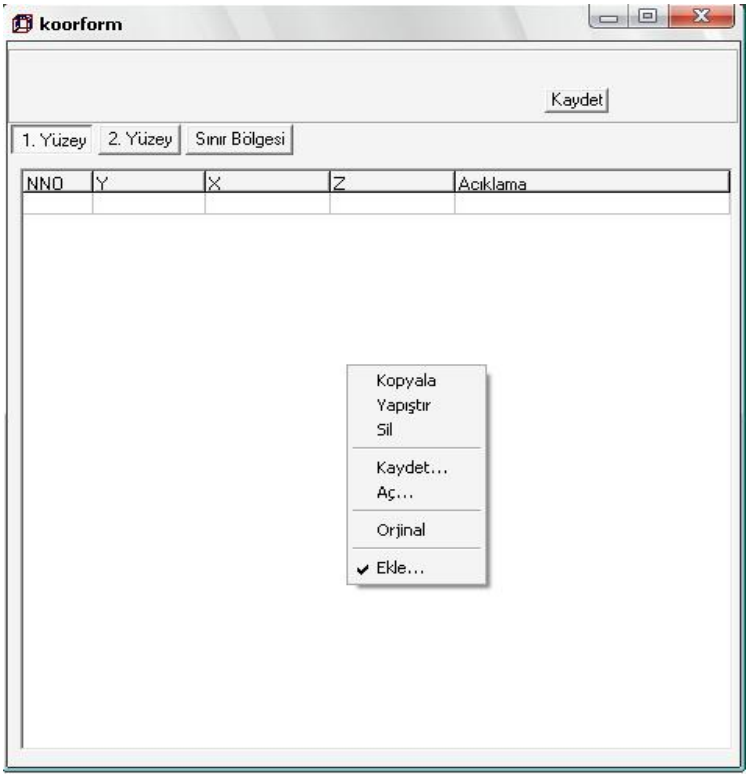
$V_F=F'(z_i - z'_i)$ olur.

Üçgen sayısı kadar yapılarak toplam hacim bulunur.

4. MATERYAL VE METOD

4.1 İKİ YÜZEY ARASINDA HACİM HESABI PROGRAM GELİŞTİRME

İki yüzey arasında hacim hesabı yapabilmek için bir yazılım hazırlanmaktadır. Bu yazılım Delphi 7.0 ara yüzü kullanılarak tasarlanmaktadır. Bunun için öncelikle delphi programlama dilinin temelleri öğrenilmiştir. Delphi programlama ara yüzünün temel komutları, hafıza kullanımı ve dizi gösterimleri basitten karmaşığa doğru tasarım esnasında kullanılmıştır. Öncelikle yüzey temsil eden rastgele dağılımlı noktalar olduğu varsayılarak nokta tipli Koorform isimli pencere ve noktaların saklanacağı veri alanları tanımlanmıştır. Yine koordinat girişinin yapılabilmesi için delphi ara yüzünde var olan stiriggrid nesnesi özelleştirilerek bir popup menusu yardımıyla kopyala yapıştır fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu sayede Excel dosyalarından kopyalanan hücreler programa dahil edilebilmektedir. Programa has bir veri kayıt formatı tasarlanmıştır. Koorform menüsünde sağa tıkla aç komutu verildiğinde (şekil 4.1) nokta sayısı ve sonra her satıra sırayla nokta no, y, x, z ve açıklama verileri yukarıdan aşağıya satır satır yazılmakta ve okunabilmektedir.



Şekil 4-1 Koordinat Giriş Penceresi

İlk olarak tasarlanan kafes yüzeyi bilgileri için daha önce girilen nokta verileri kullanılmaktadır. Kafes yüzey verisi i,j satır sütun olarak tanımlanan veri dizisinde koorform unit'de tanımlı nokta veri biçimiyle sıralı veri blokları tutulmaktadır. Kafes veri gurubu bu şekilde tanımlandıktan sonra sıra rastgele dağılımlı noktalar kümesinden kafes veri gurubuna veri aktarmaktadır. Öncelikle kafes form olarak tanımlanan pencerede referans nokta kümesinin maksimum ve minimum noktalarından bir dikdörtgen veya kare elde edilmekte ve bu sınırlar içinde yine kafes penceresinde girdi olarak istenen x ve y yönünde kafes sayısı veya kafes aralıkları kullanılmış ve kafes boyutları ayarlanmaktadır. Bu ayarlama aslında hafıza ayırma işlemindir. Daha sonra kafes köşelerinin koordinatları hesaplanmakta ve bu noktaya göre arazi referans noktaları tek tek çağrılarak kenar hesaplanmaktadır. Ancak burada hesaplanacak tüm z değerleri tüm noktalardan etkilenecek ve her köşe için tüm arazi noktaları defalarca işlenecektir. Kafes, köşe koordinatlarının hesabı için sadece en yakın referans noktalarının kafes penceresinde girilen en az kontrol sayısı kullanılarak algoritma kısaltılmıştır. Kafes büyüklüğüyle başlayıp daha sonra minimum kontrol nokta sayısı sağlanana dek seçim dörtgen genişliği artırılan seçim dörtgeni oluşturulmuştur. Seçim dörtgenine düşen referans arazi noktalarının koordinat değerleri yardımıyla kenarın ters ağırlıklarına göre kafes köşe koordinatlarının yükseklik değeri olan z' ler hesaplanmaktadır. Bunun için kenar uzaklığının tersi ağırlıklı bir enterpolasyon hazırlanmıştır. Bunun formülleri aşağıda verilmiştir.

Bir enterpolasyon noktasının yüksekliği:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i z_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$$

eşitliğiyle bulunur.

Açıkça yazmak gerekirse,

$$z = \frac{\left| W_1 * z_1 + W_2 * z_2 + \ldots + W_n + z_n \right|}{\left| W_1 + W_2 + \ldots + W_n \right|}$$

olur.

Matris gösterimiyle,

$$z = \frac{Wz^T}{Wu^T}$$ yazılır.

Ağırlık fonksiyonu olarak,

$W_i = [(x_i - x_o)^2 + (y_i - y_o)^2]^{-k}$

(x_o , y_o) noktası enterpolasyon noktasıdır.

Burada, $W = (W_1, W_2, \ldots W_n)$ Ağırlık vektörünün, u birim vektörü, z arazi noktalarının yükseklik vektörünü gösterir.



Şekil 4-2 Yüzey Tanımlama Penceresi

Diğer bir yüzey tipi olan üçgen yüzey için Delaunay üçgenleme algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmanın temelleri ve çalışması üzerinde yapılan araştırmalardan sonra programa uyumu yapılmış ve dahil edilmiştir. Bu algoritmada arazi noktaları delaunay nesnesinin verteks diye tanımlanan noktalarına veri aktarımı yapılmış hazırlanan Üçgenleme Menüsü penceresi yardımıyla hesap yaptırılmaktadır. Temel yapı itibariyle bu algoritma nokta sayısı, kenar ve üçgen sayısı tasarım esnasında tanımlanmakta ve kullanıcıya veya hesap noktalarından bağımsızdır.

Bunun için

Max_{Nokta} = 1 000 024; $max_{üçgen} = 2* Max_{Nokta}$ ve tolerans sınırı = 0.000001

ön tanım olarak belirlenmiştir.

İşlem akışı maksimum ve minimum noktalar yardımıyla tüm noktaları içine alan büyük bir üçgen başlangıç alınmaktadır. Noktalar x koordinatına göre sıralanmakta ve tek tek çağrılmaktadır. İstenen noktanın üçgenlerin çevrel çemberlerinin içinde olup olmadığı kontrol edilerek, üçgenin çevrel çemberinin içinde ise yeni üç tane daha üçgen oluşturulmaktadır. Nokta sayısı ve her nokta için oluşturulan üçgenlerde dahil işlenerek üçgen yüzey oluşturulmaktadır.

İkinci yüzeyler için yukarıdaki algoritmalar kullanılmıştır ortak pencerelerde düzenlemeler yapılmıştır. Artık hacim hesapları yapılabilir.

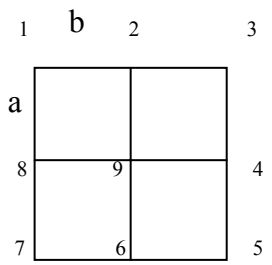
Hacim hesapları kafes yüzey için belli bir referans düzleme göre yükseklik farkları hesaplanmış ve kafes alanları sabit alınarak kazı ve dolgu hacimleri bulunmuştur. Hesap için kullanılan formüller ise ;

$V= F'*(h_1+h_2+h_3+h_4) / 4$ Dörtgen prizmanın hacmi;

Kare ağlarıyla örtülü bir cismin hacmi;

$V=a\ 2(\sum h_E + 2\sum h_R + 4\sum h_i)$

ile hesaplanabilir.



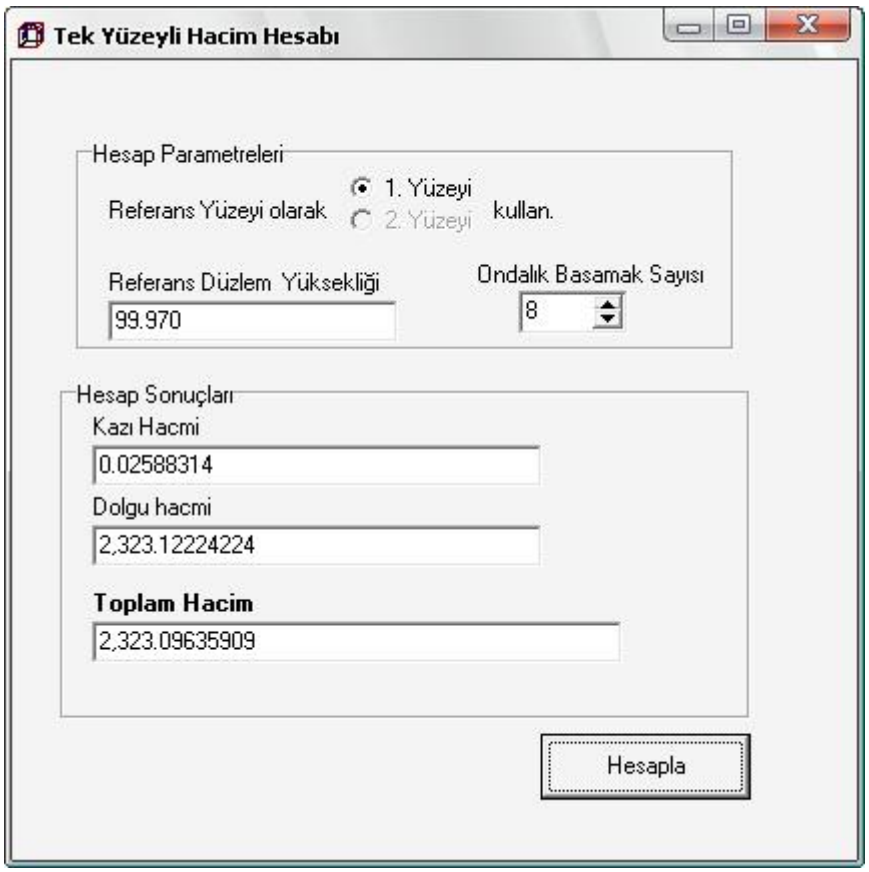
Şekil 4-3 Dörtgen Kafes Ağı

h_E=dış köşe yükeklikleri (1,3,5,7)

h_R=dış kenar yükseklikleri (2,4,6,8) ,

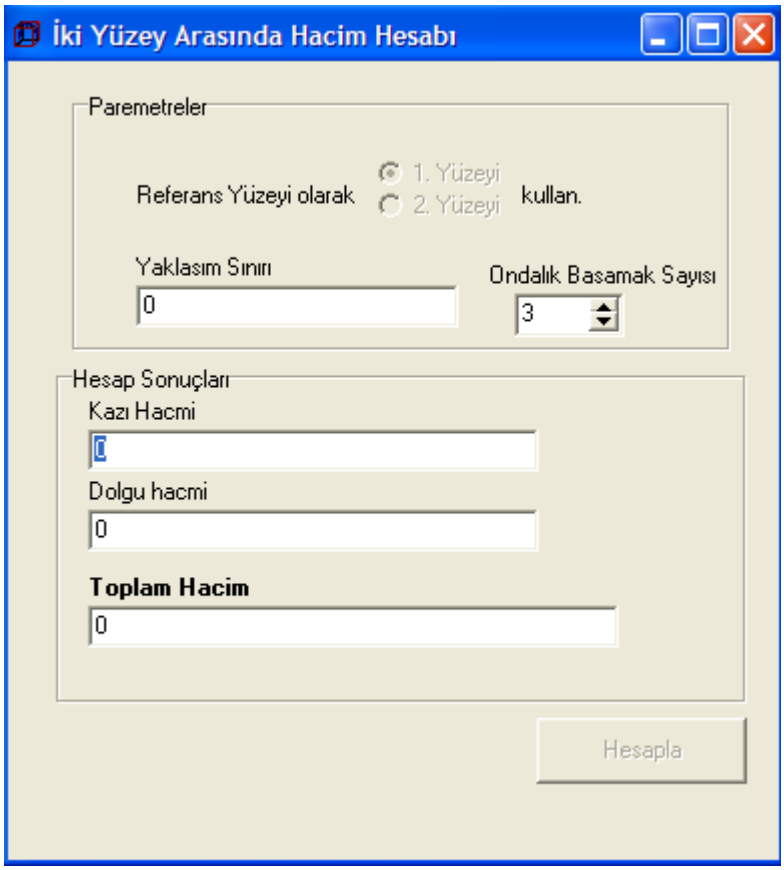
h_i=iç yükseklik (9)

Bunun için Şekil 4-4'deki pencere oluşturulmuştur.



Şekil 4-4 Tek Yüzeyli Hacim Hesabı Penceresi

İki yüzey de hacim hesabı için yeni bir pencere oluşturulmuştur. Bu sefer yükseklik farkları eş oluşturulan kafeslerin köşe yükseklik farkları alınmıştır. Burada yükseklik farkları arasındaki tolerans kullanıcı tarafından girilebilmektedir. Yine referans yüzey seçilebilmektedir.



Şekil 4-5 İki Yüzey Arasındaki Hacim Hesabı Penceresi

Üçgen yüzeylerden hacim hesabı için üçüncü bir pencere oluşturulmuştur. Burada kullanılan hacim formülleri ise;

$F' = (\Delta X_2 \Delta Y_3 - \Delta Y_2 \Delta X_3) / 2$ (üçgen alanı)

ZB indirgeme yüksekliği olmak üzere,

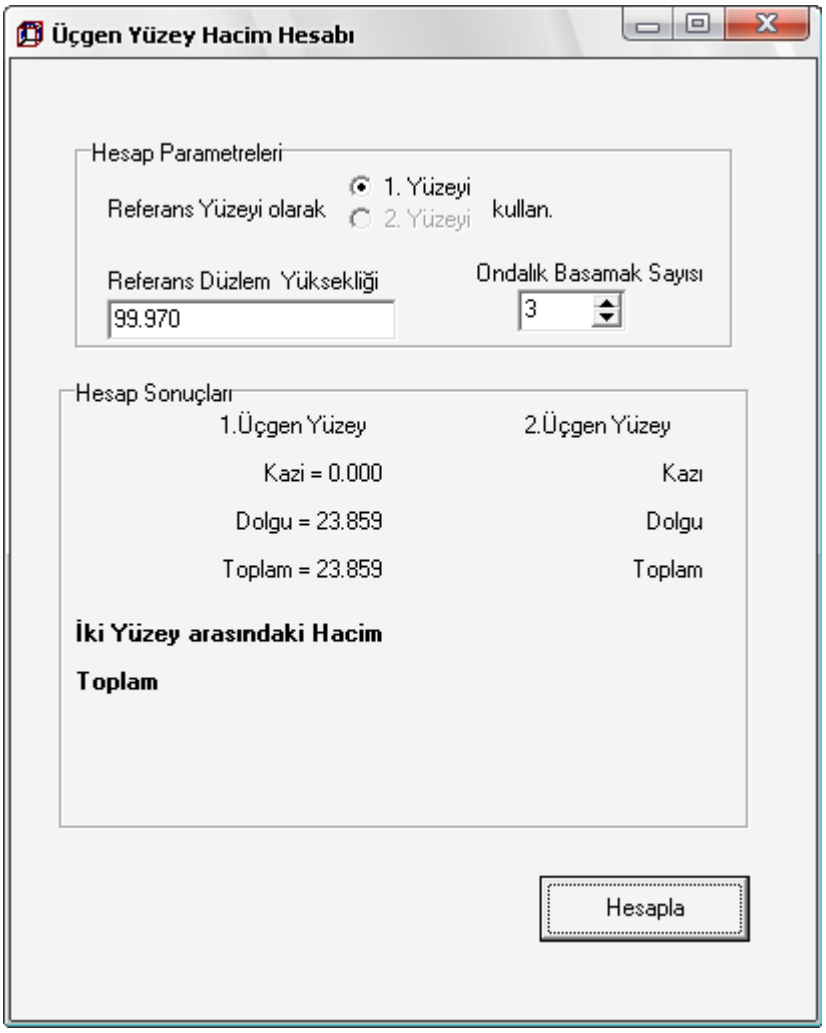
$V = F'(Z_1 + Z_2 + Z_3 - 3 Z_B)$

Üçgen prizmaların sayısı n ise;

$$V_{top} = \sum_{k=1}^{n} V_k$$ olur.

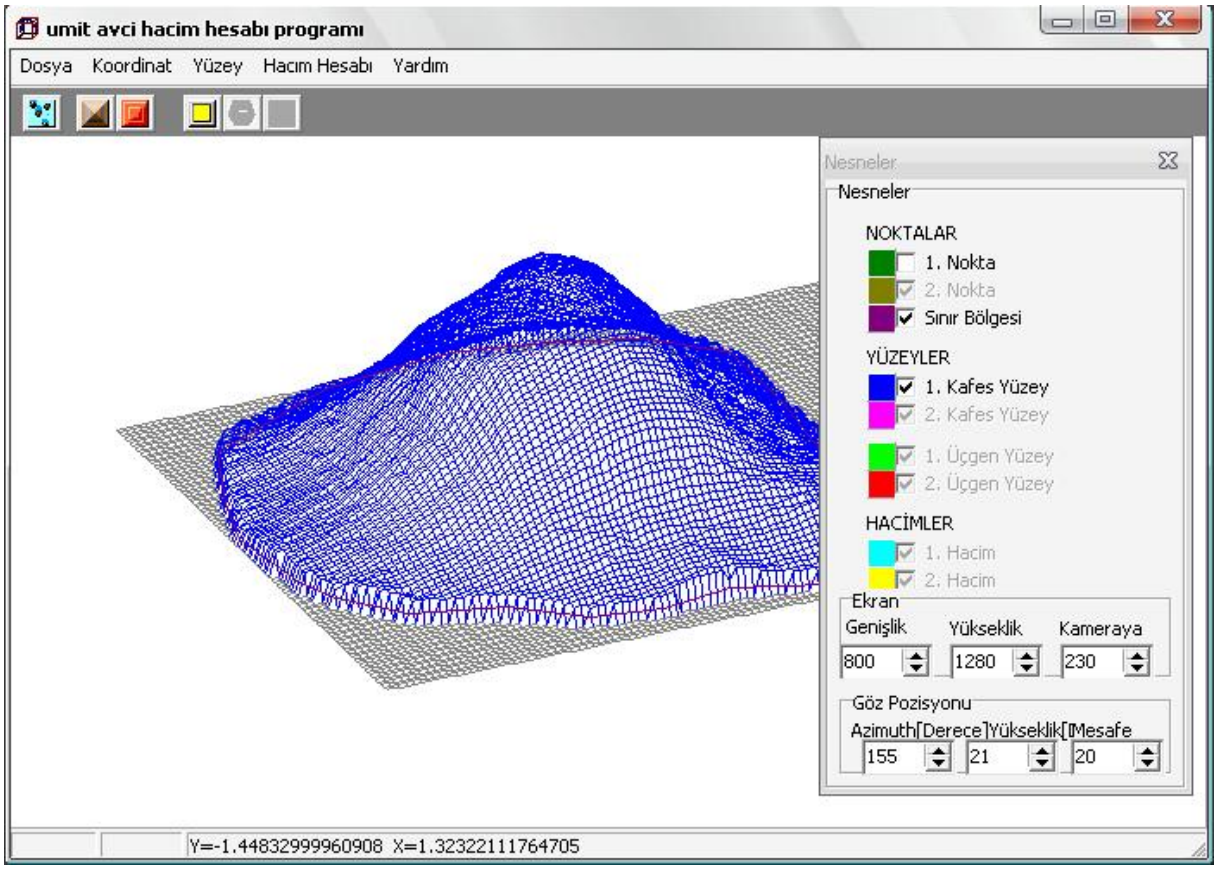
Aynı indirgeme düzlemine iki durum arasındaki fazla hacim;

$$V_{fark} = V_f = V_{ü} - V_a$$ olur.



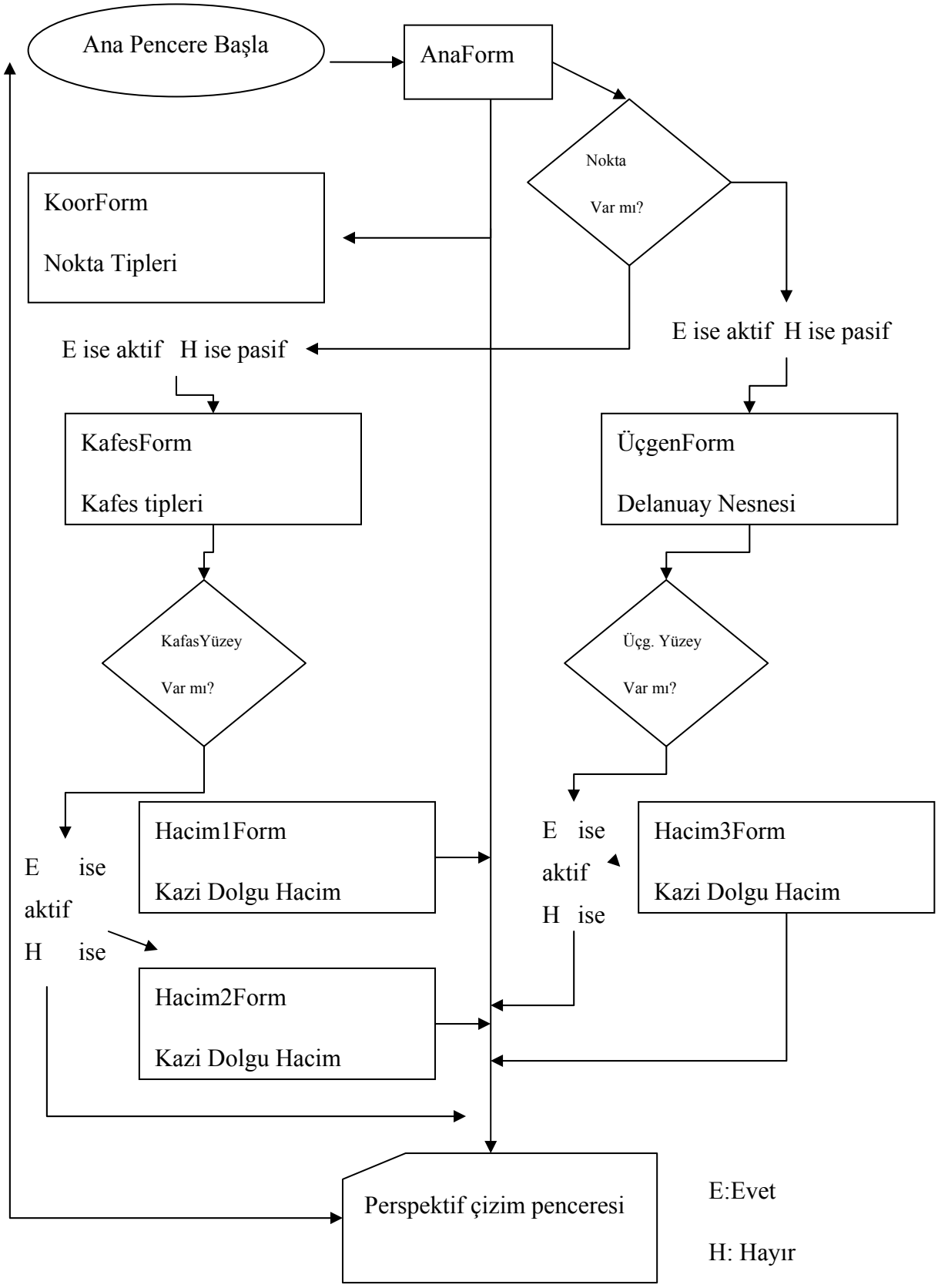
Şekil 4-6 Üçgen Yüzey Hacim Hesabı Penceresi

Bu hesaplamaların sonuç çıktıları ekranda delphinin canvas nesneyi yardımıyla basit olarak çizilmesi hedeflendi. Bunun için Earl F. Glynn tarafından geliştirilen 3 Boyutlu gösterme algoritması kullanıldı. Bu algoritmada perspektif izdüşümü kullanılmış bu yüzden ana pencereye göz pozisyonuyla ilgili azimut yükseklik ve mesafe değerleri, ekran için en boy ve kamaraya uzaklık girdileri eklendi. Girilen arazi koordinatları merkezlenmekte ama yine de mesafe ayarı elle yapılmadan bazı çizimler ekranda görülememektedir.



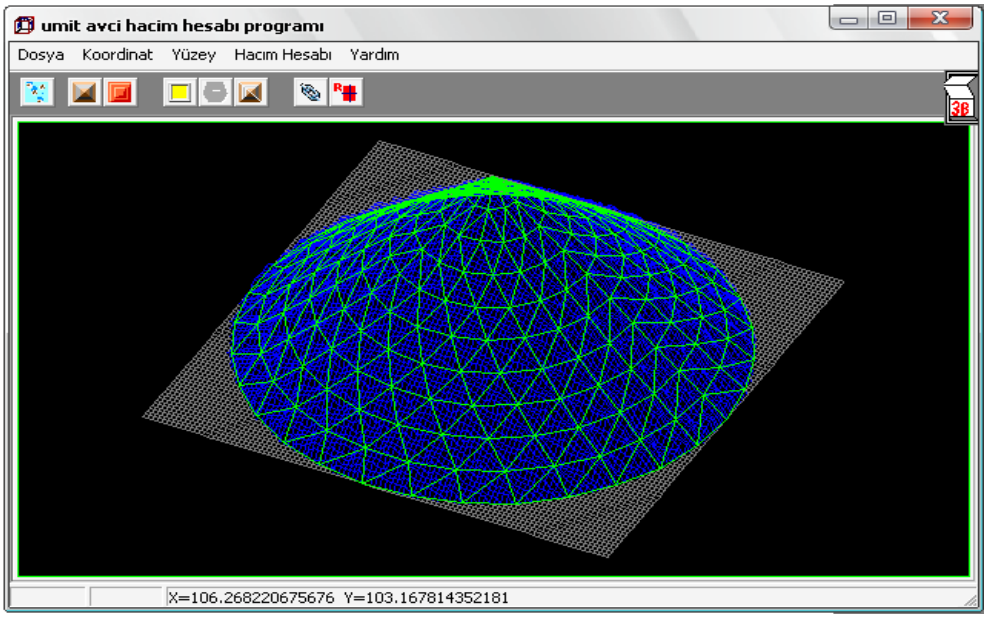
Şekil 4-7 Program Ana Penceresi

4.2 AKIŞ_DİAGRAMI

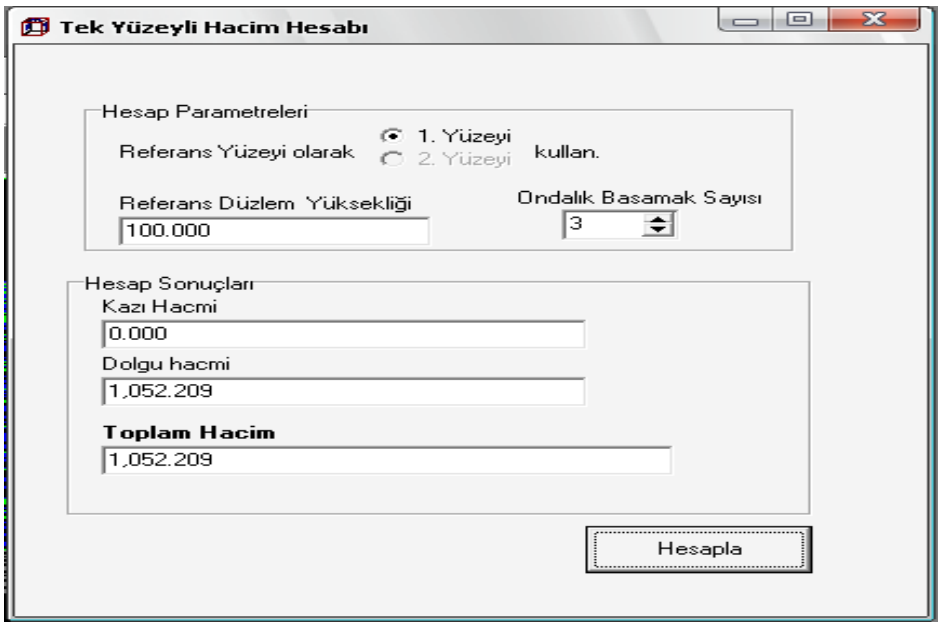


UYGULAMA

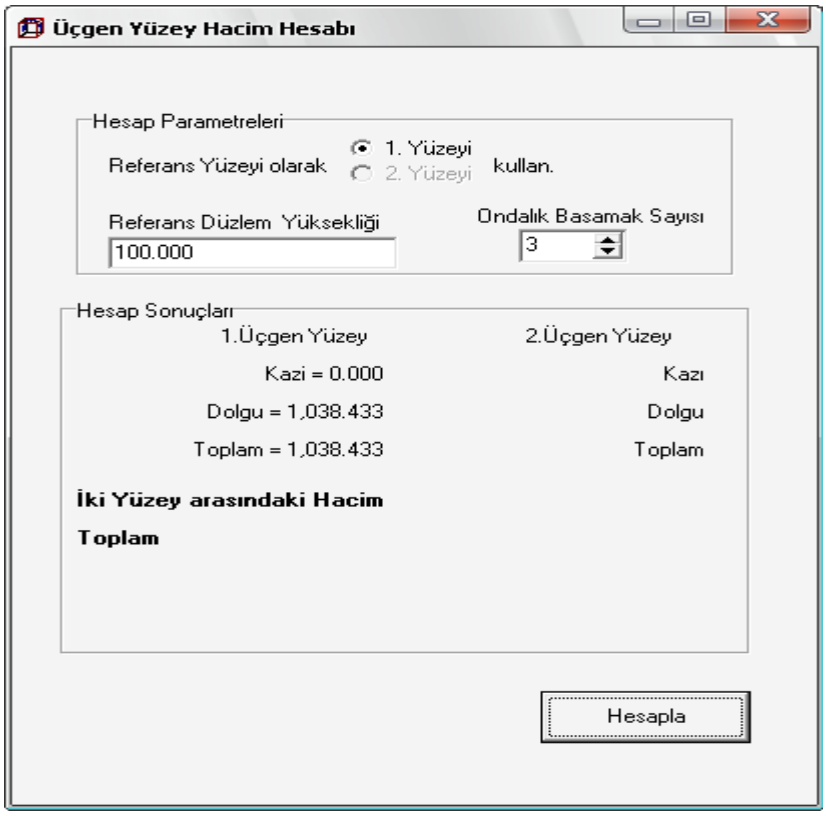
10 m yarıçaplı bir daireyi taban kabul eden 10 m yükseklikli koni yüzeyi için 1 m yükseklikli çember noktaları yatayda yaklaşık 1 m aralıklarla örnekleme noktaları seçilmiştir. Bu noktaların oluşturduğu koninin hacmi, program yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 5-1 Programla Koni Şekli



Şekil 5-2 Koni Şeklin grid yüzeyden hacmi



Şekil 5-3 Koni Şeklin üçgen yüzeyden hacmi

Koninin hacmi = taban alanı x yükseklik / 3 formülüyle hesaplandığına göre

Koni $_{hacmi}$= V $_{koni}$ = pi x 10^2 x 10 /3 = 1047.198 m^3

Üçgen yapılı yüzeyden referans 100 m düzleme olan hacim;

V $_{koni}$ = 1038.433 m3 olarak

Kafes yapılı yüzeyden referans 100 m düzleme olan hacim;

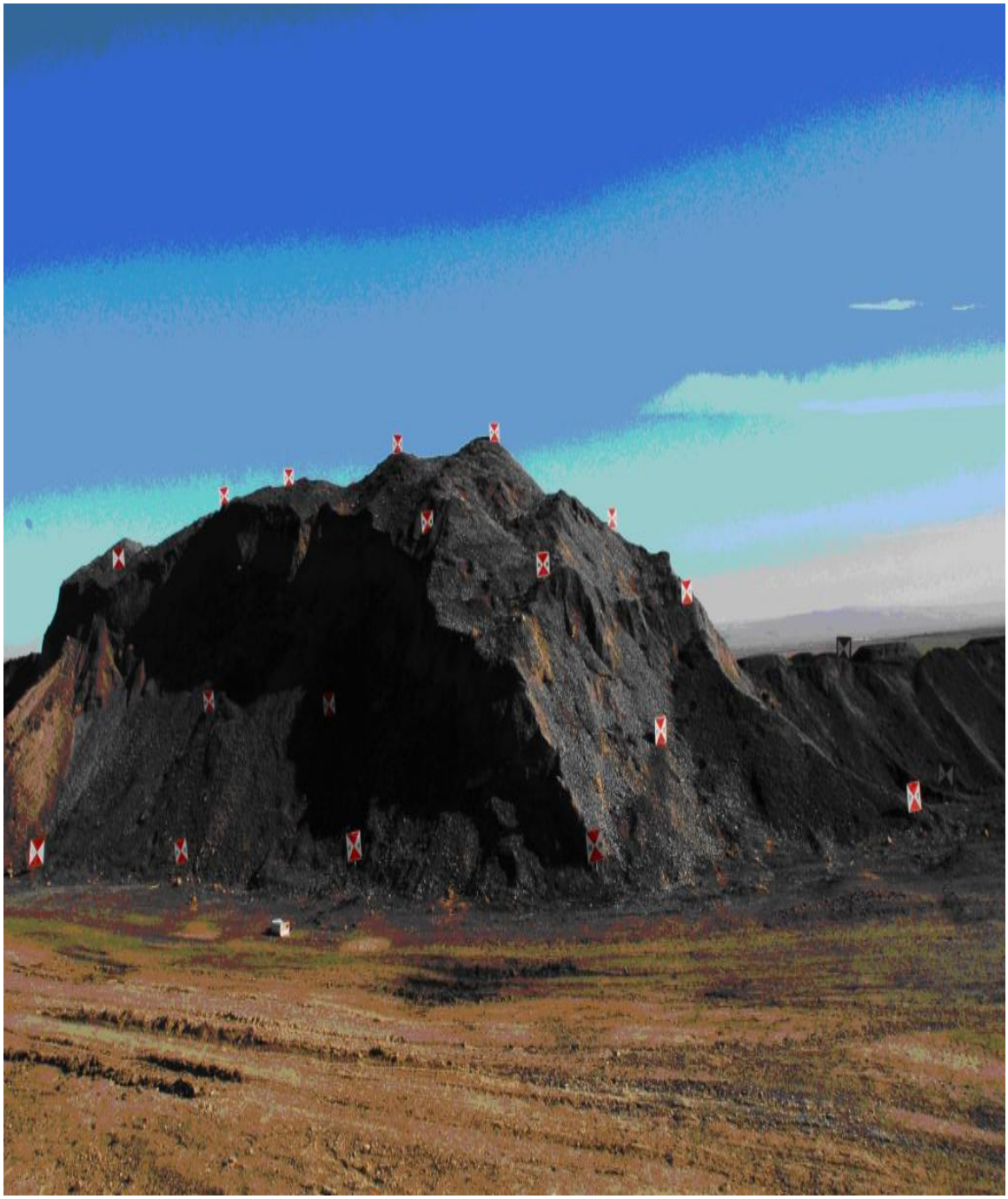
V $_{koni}$ =1038.433 m^3 olarak hesaplandı.

İki yüzey arasında hacım hesaplaması için Aksaray İlinde bir kum ocağı seçildi. Kum ocağında hacım hesabı yapılacak bölge olarak 20 m boyunda 14 m eninde 5 m yüksekliğinde kum yığını alındı. Hacim hesabı için veriler fotogrametrik yöntemle elde edildi. Kazı bölgesinde kasa boyutları 2.20 m x 5.00 m 1.55 m olan bir kamyon kullanıldı. Bu kamyonun kasa hacmi 17.05 m3 olarak hesaplandı. Kamyonla 2 kasa malzeme kazı bölgesinden alındı. Kazı hacmi 2 x 17.05 x 0.06 =32.054 m3 olarak hesaplandı (Kum ocağında ki kumun sıkışma oranı olarak %6 alındı.). Hesaplanan bu hacım değeri gerçek değer olarak alındı.

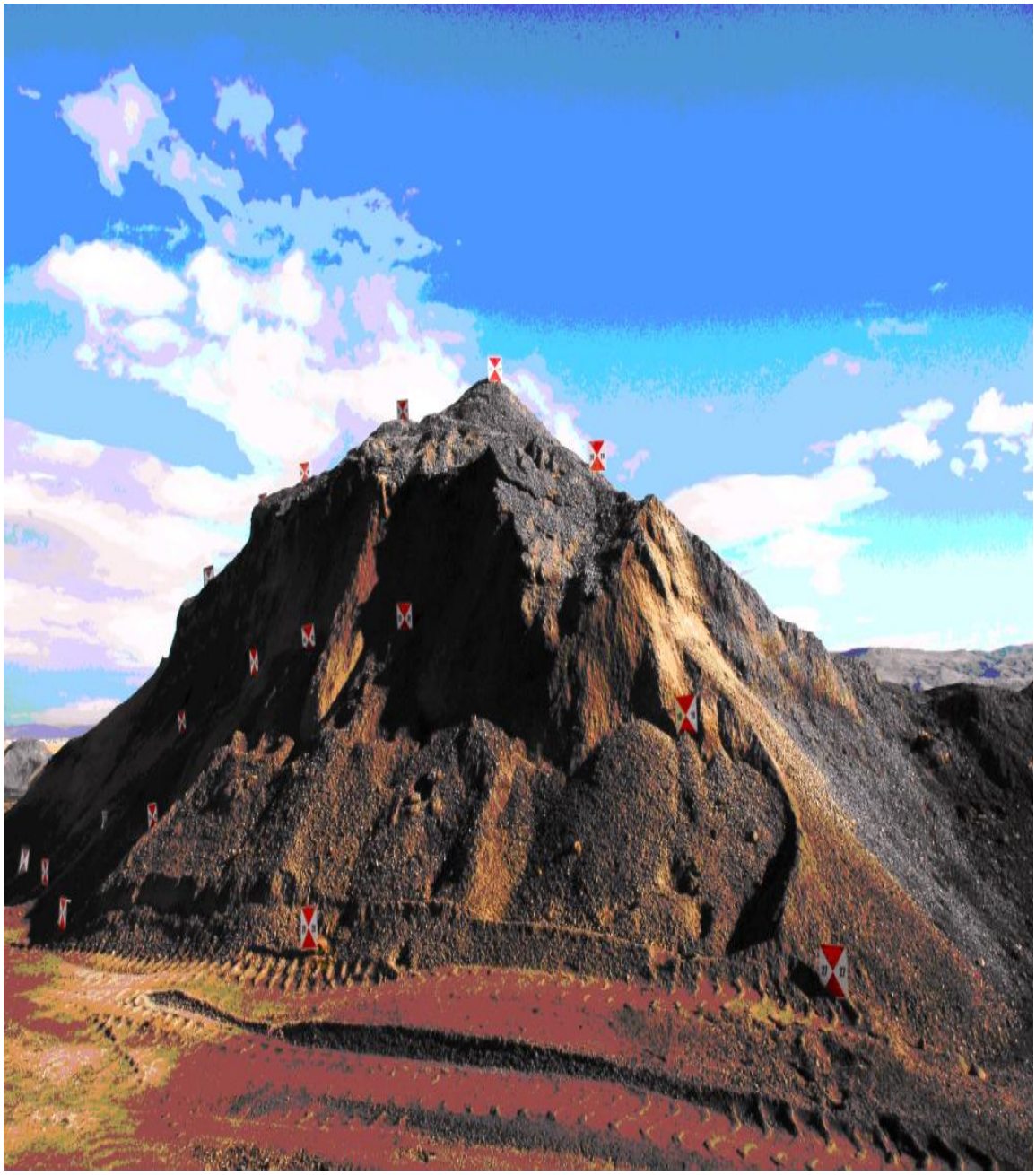
Yüzey verisi elde etme için fotogrametrik yöntemde resimlerin değerlendirilmesi için yersel fotogrametri yöntemi kullanıldı. Resim çekiminden önce çalışma bölgesine 20x20 cm boyutlarında saç levhalar yerleştirildi. Arazi yüzeyine 19 adet kontrol noktası kazı öncesi ve sonrası yerleştirilip jeodezik ölçme aleti ile bu noktalar ölçüldü. Kazı öncesi ve sonrası NIKON D200 SLR fotoğraf makinesi ile fotogrametrik esaslara uygun olarak resimler çekildi. (Şekil 5.4 ve

Şekil 5.5)

Resimler Photomodeler 5.0 fotogrametrik yazılımında değerlendirildi. Kazı öncesi ve sonrası çekilen resimler yardımıyla oluşturulan model ile hacim hesabına veri olacak dayanak noktalarının 3 boyutlu koordinatları elde edildi.



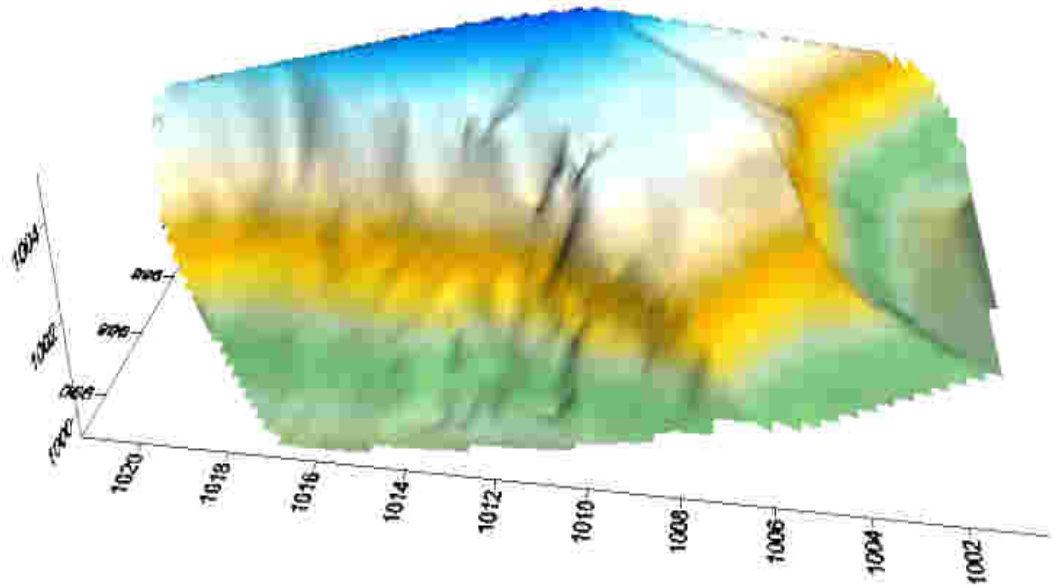
Şekil 5-4 Kazı öncesi çalışma alanı ve plakalar



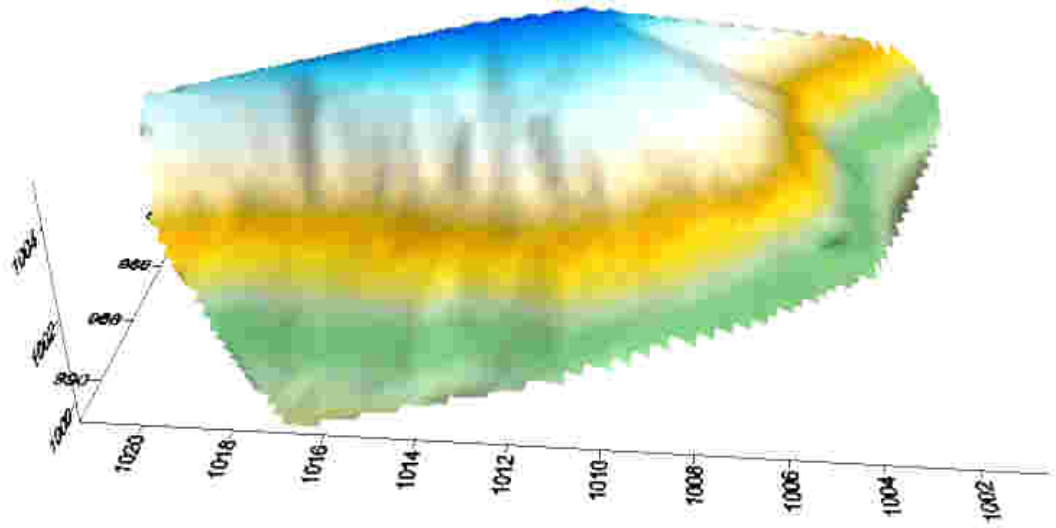
Şekil 5-5 Kazı sonrası çalışma alanı ve plakalar

Arazi yüzeyini temsil etmesi için üretilen veriler Surfer 8.06 yazılımında değerlendirildi. Dayanak noktaları surfer programını nokta verisi olarak excell dosyası olarak eklendi. Eklenen nokta koordinatları grid yapısını kullanan bu programda ağırlıklı aritmetik ortalamayla enterpolasyon yöntemi seçildi. Bu yöntem

kullanılırken parametre olarak 1. dereceden kenarların tersi ve seçim nokta minimum sayısı olarak 3 değerleri girilerek kazı öncesi ve sonrası yüzey grid yapısında oluşturuldu. Bu programda arazi yüzeyleri Şekil 5-5 ve Şekil 5-6 da görülmektedir.



Şekil 5-5 Surfer programı kazı öncesi arazi yüzeyi



Şekil 5-6 Surfer programı kazı sonrası arazi yüzeyi

Bu arazi yüzeylerinin modeli oluşturulduktan sonra 999.66 m düzlem kotuna kadar kazı öncesi hacim;

Kazı öncesi hacim = 665.81 m^3

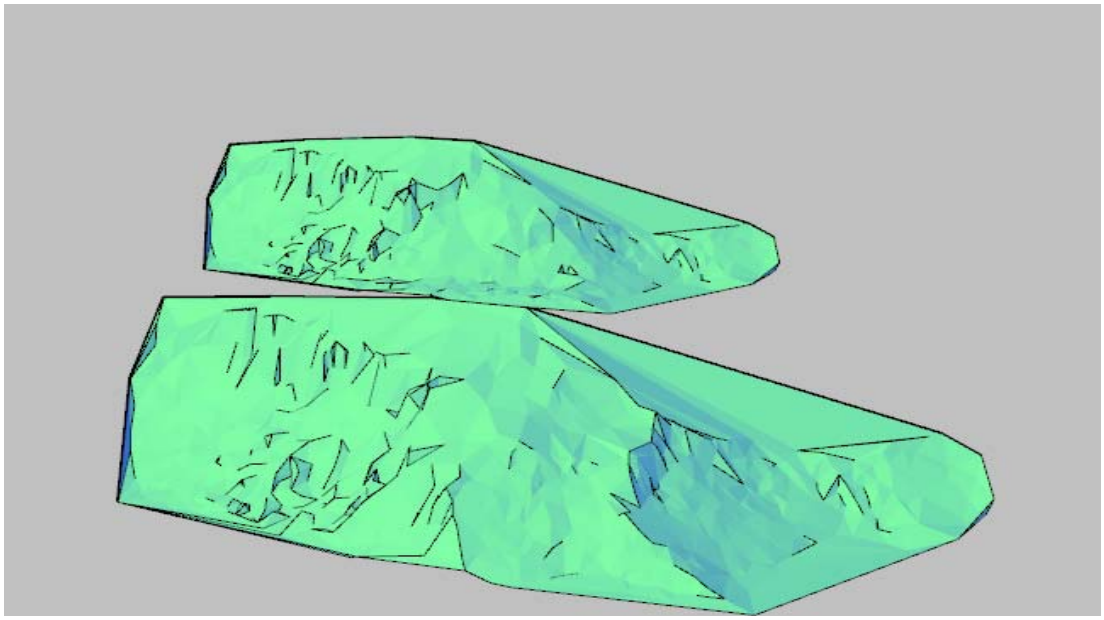
Bu arazi yüzeylerinin modeli oluşturulduktan sonra 999.66 m düzlem kotuna kadar kazı sonrası hacim;

Kazı sonrası hacim= 630.93 m^3

İki yüzey arasındaki fark hacim ise;

İki yüzey arsındaki hacim = 34.88 m^3 olarak hesaplandı.

Arazi yüzeyini temsil etmesi için üretilen veriler AutoCAD Civil 3D 2008 programında da değerlendirildi. Programda ko ve ks olarak iki yüzey nesnesi oluşturuldu. Bu nesnelere yüzey verileri txt ascii formatında programa aktarıldı. Yüzey oluşturma parametresi olarak lineer enterpolasyon yöntemi ve üçgen yapılı yüzey seçildi. Bu programda oluşturulan arazi yüzeyleri Şekil 5-7 da görülmektedir.



Şekil 5-7 AutoCAD Civil 3D 2008 programı kazı önce ve sonrası arazi yüzeyi

İki yüzey arasındaki fark hacim ise = 29.82 m^3 olarak hesaplandı.

Arazi yüzeyini temsil etmesi için üretilen veriler Netcad 5.026 programında da değerlendirildi. Programda ko ve ks olarak nokta tabakası oluşturuldu. Bu programın kullanmış olduğu üçgen yapısında arazi yüzeyleri ayrı ayrı projelerde oluşturuldu. Üçgen oluşturma parametresi olarak minimum üçgen kenarı 0.01m maksimum üçgen kenarı 50 m seçildi. Oluşturulan projeler 999.00 m refarans düzlemine göre hacim hesabı yapıldı. Bu programa göre;

Kazı öncesi hacim = 475.90 m^3

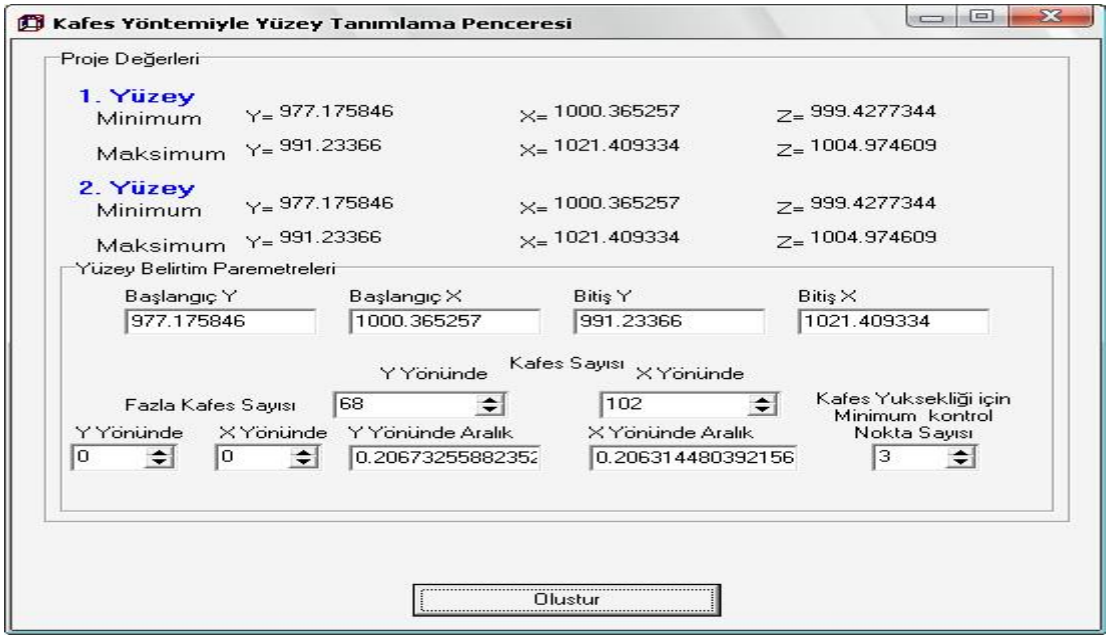
Bu arazi yüzeylerinin modeli oluşturulduktan sonra 999.66 m düzlem kotuna kadar kazı sonrası hacim;

Kazı sonrası hacim= 446.10 m^3

İki yüzey arasındaki fark hacim ise;

İki yüzey arsındaki hacim = 29.80 m^3 olarak hesaplandı.

Son olarak aynı veriler hazırlanan lokum yazılımına göre değerlendirildi. Veriler excel formatında panoya kopyalanarak Programa acılan koorform penceresinde 1. ve 2. yüzey koordinat sayfalarına ayrı ayrı kopyalandı. Kafes yapısında oluşturulacak yüzey için şekil 5-8 de görüldüğü gibi parametreler seçildi.



Şekil 5-8 Lokum programı kafes yüzey parametreleri

Üçgenleme menüsünden üçgen yapılı yüzeyler oluşturuldu.

Üçgen yüzeyden hacim hesabı penceresinden;

Bu arazi yüzeylerinin modeli oluşturulduktan sonra 999.428m düzlem kotuna kadar kazı öncesi hacim;

Kazı öncesi hacim = 400.034 m^3

Bu arazi yüzeylerinin modeli oluşturulduktan sonra 999.428 m düzlem kotuna kadar kazı sonrası hacim;

Kazı sonrası hacim= 370.215 m^3

İki yüzey arasındaki fark hacim ise;

İki yüzey arsındaki hacim = 29.819 m^3 olarak hesaplandı.

İki yüzey arasında hacim hesabı penceresinden;

İki yüzey arsındaki hacim = 28.832 m^3 olarak hesaplandı.

5. SONUÇLAR

Günümüzde birçok mühendislik projesinde hacim hesaplarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda hacim hesaplarının bu program kullanılarak yapılması amaçlanmıştır. Bu amaca göre "Lokum" isimli yazılım tasarlanmıştır.

Değişik yöntemlerle elde ettiğimiz ascii yapılı veri grupları oluşturulan program yardımıyla kolaylıkla okunulup işlenebilmektedir. Yüzeyi temsil eden örnekleme noktaları program yardımıyla işlenerek üçgen ve dörtgen yapılı grid yüzey ağları oluşturulmaktadır. Oluşturulan yüzey ağları ayrı ayrı yukarıda detayları anlatılan Eşyükseklik Eğrili Planlardan Hacim Hesabı ve Üç Boyutlu Koordinatlardan Hacim Hesabı yöntemleri ile hesap yapılabilmektedir.

Bu hacim hesapları yapılırken tek yüzey kullanılarak sabit bir kota göre yapılabilmesinin yanı sıra asıl konumuz olan ilk yüzey ve üzerinde değişiklik yapılan ikinci yüzey arasındaki fark hacim doğrudan hesaplanabilmektedir. Yine girilen veri gurupları üçgenleme algoritmasıyla otomatik olarak dış sınırı bölge olarak oluşturula bilinilir veya koordinat menüsünde sınır bölgesi tabına bölge noktaları birleşim sırasıyla elle ya da dosyadan okunarak oluşturulabilmektedir. Bu da hacim hesabının oluşturulan bu bölge sınırları içersinde yapılmasını sağlamaktadır. Bu özellik grid yapılı yüzeylerde nokta veri gurubundan uzaklaştıkça hassasiyeti azalan grid düğüm noktalarından yapılan hacim hesaplarının hassasiyetini arttırdığı gibi üçgen yapılı yüzeylerde nokta veri gurubunun oluşturulması sırasında kullanılan yüzey dışındaki yardımcı noktaların da yüzeyin oluşturulması sırasında kullanılsa bile hacim hesabında doğrudan hesabı etkilememesi sağlanmıştır.

Hacim hesabında kullanılmak istenen yüzeyleri temsil eden örnekleme (dayanak) noktaları yüzeyi temsil yetisi hacim hesabının hassasiyetini doğrudan etkilemektedir. Örnekleme noktaları yüzeyi tam temsil ederse yine bu noktalardan oluşturulan bölge içersinde yapılacak hacim hesabı da gerçeği yansıtacaktır.

Özellikle grid yapılı yüzeylerle yapılan hacim hesaplarında dayanak noktaları yüzeyi eşit aralıklarla ve yüzey topografyasını iyi yansıtacak şekilde seçilmesi önem arz etmektedir. Üçgen yapılı yüzeylerde ise delunay üçgenlemesi ile otomatik oluşturulan üçgenler yüzey topografyasını tam kavrayacak şekilde oluştuğu üç

boyutlu görüntü ekranında kontrol edilmelidir. Örneğin yüzeyin temsil ettiği su toplama ve dağıtma çizgileri üçgenlerin oluşumunda karşıdan karşıya geçip geçmediği hacim hesabının doğruluğunu belirleyen unsurlardır.

Oluşturulan yüzeyin dış bükey olmasına dikkat edilmelidir. İç bükey yüzeyler için katı modeller oluşturularak bu modeller için geliştirilmiş yazılımlar hacim hesabında kullanılmalıdır.

İki yüzey arasında fark hacminin hesaplanacağı yüzeylerin sınır bölgesi düzlemine dik Z eksenine paralel düzlemlerle sınırlandırıldığı veya birinci yüzeyde dayanak noktası olarak kullanılan noktalardan seçilen doğrultularda birinci ve ikinci yüzeyin ara kesit yaptığı ön görümüyle tasarlanan hacim hesabı programı bu şartların sağlandığı fark hacimlerini doğrudan hesaplayabilmektedir. Ya bu şartlar, veri gurupları programa girilirken sağlanmalı ya da bu şartı bozan noktalar projeden çıkartılmalıdır. İstenirse hesaplanarak bu şartı sağlayan yeni noktalar projeye sonradan dahil edilmelidir.

Bu uygulamada erişilmesi mümkün bir kazı alanı seçilmiştir. Kazı alanından kazılan kum miktarı hacmi bilinen bir kamyon ile ölçülmüştür. Bu değer gerçek değer olarak alınmıştır. Buna göre yöntemlerin doğrulukları kıyaslanmıştır. Genel olarak yöntemler gerçek hacmi %10 hata payı ile yaklaşıldığı görülmüştür.

Program adı	Kullanılan yüzey yapısı	Hacim (m^3)	Fark (m^3)	Doğruluk (%)
Surfer	Grid	34.88	2.826	91.89
Civil 3D	Üçgen	29.82	-2.234	92.51
Netcad	Üçgen	29.80	-2.254	92.44
Lokum	Grid	28.832	-3.222	88.82
Lokum	Üçgen	29.819	-2.235	92.50

Şekil 6-1 Hacim hesabında elde edilen sonuçlar

6. KAYNAKLAR

Yanalak M, Sayısal Arazi Modellerinde Yükseklik Enterpolasyonu. Harita Dergisi Temmuz, 2002

Yanalak M, Sayısal Arazi Modelleri ve Kullanılan Enterpolasyon Yöntemleri Yüksek Lisans Tezi Ocak ,1991

Yıldız F, Sayısal Arazi Modelleri, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilimdalı Ders Notları, 1992

İnal C, Yiğit Ö, Jeodezik Uygulamalarda Kriging enterpolasyon Yönteminin Kullanılabilirliği, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı 24-25-26 Eylül 2003 Konya

Yakar M, Yılmaz M, Mutluoğlu Ö, Hacim Hesaplarında Lazer tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 11- 15 Mayıs 2009, Ankara

Yılmaz M, Yakar M, Karabörk H, Bayrak T, Dijital Yersel Fotogrametri ile Hacim Hesabı, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2.Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 23- 25 Kasım 2005. İTÜ – İstanbul

An B, Erkaya H, Açık İşletme Modellerinde Jeodezik Çalışmalar, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2.Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 23- 25 Kasım 2005. İTÜ –İstanbul

Boyacı T, Barajlarda Mühendislik Ölçmeleri, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2.Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 23- 25 Kasım 2005. İTÜ –İstanbul

Altan M.E, Yüksek Matematik Kitabı 1971

Üstüntaş T, Sayısal Arazi Modellerinde Hassasiyet Analizi ve enterpolasyon Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi 1994, Konya