HIFI - SONLU ELEMANLARLA YÜKSEKLİK ENTERPOLASYONU İÇİN BİR MİNİ BİLGİSAYAR PROĞRAM PAKETİ *

Yük.Müh.Yzb. Salih AYDEMİR

Çevirenin Notu:

Aralık 1982'de Harita Genel Müdürlüğü Fotogrametri Şubesinde kurulacak olan ORTOFOTO SİSTEMİ, analitik bir ortofoto sistemidir. Sözü edilen sistem; Zeiss ORTHOCOMP Z2 analitik ortoprojektör, HP 1000 mini bilgisayarı ve Zeiss DZ 7 AC otomatik çizim masasından oluşmaktadır.

Bu sisteme uyarlanmış olarak çalışan HIFI-PC paketi de sistemle birlikte gelecektir. Proğram hakkında açıklamaları içeren bu makalenin çevirisi elimizde Türkçe kaynak olması bakımından yararlı olacaktır.

ÖZET

Bu yazıda yükseklik enterpolasyonu için bir mini bilgisayar proğram paketi sunulmuştur. Proğram, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, rasgele dağılmış örneklem noktalarından (reference points) SYM (Sayısal Yükseklik Modeli)'ni enterpole edecek şekilde ve FORTRAN dilinde yazılmıştır. Sayısal yükseklik modelinden ortofoto üretimi için sayısal profiller türetebilir ve sayısal eş yükselti eğrileri enterpole edilerek çizdirilebilir. Makale, enterpolasyon prensiplerini ve proğramın yapısını açıklamaktadır. Son olarak, pratik örneklerden alınan sonuçların kullanımı ile proğram paketinin etkinliği sergilenecektir.

---

* HIFI - A MINICOMPUTER PROGRAM PACKAGE FOR HEIGHT İNTERPOLATION BY FINITE ELEMENTS, EBNER H., HOFFMAN B., REISS W.P., STEIDLER F., ISP 1980, Hamburg, Comm. IV, Working Group 1.

1. GİRİŞ

Bu yazı, yükseklik enterpolasyonu için genel bir FORTRAN proğram paketini açıklamaktadır. Proğram Hewlett Packard HP 1000 mini bilgisayarında kullanım için geliştirilmiş olup, diğer mini bilgisayarlarda ve büyük bilgisayarda da kullanılabilir.

Proğram paketi, grid noktalarının yüksekliklerini, rasgele dağılmış noktaları ve arazinin kırık hatları (break lines) boyunca örneklenen noktaları kullanarak enterpole etmektedir. Grid ağı kare şeklindedir ve boyutları kullanıcının seçimine bağlıdır. Grid noktalarıyla oluşturulmuş olan sayısal yükseklik modelinden; sayısal eş yükselti eğrilerinin ve sayısal profillerin türetilmesi de isteğe bağlıdır.

Sayısal yükseklik modelinin enterpolasyonu için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır. Bu genel yöntem, 20 seneden uzun bir zamandan beri nümerik matematik ve değişik mühendislik sahalarında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

Son bir kaç yıl içinde; yöntem, jeodezide de kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulamalarda olduğu gibi, sayısal yükseklik modellerinin enterpolasyonu nisbeten basit ve düzenli bir temele dayanmaktadır.

Enterpolasyon noktalarından oluşan grid ağı için, bölgesel yüzeyler belirlenmektedir. Bu SONLU ELEMANLAR daha sonra birbirleriyle birleştirilmekte ve toplam enterpolasyon yüzeyi şekillenmektedir.

HEIGHT INTERPOLATION BY FINITE ELEMENTS (sonlu elemanlarla yükseklik enterpolasyonu, HIFI), isteğe bağlı bir filitreleme ile, verilen örneklem noktalarına yaklaşarak, minimum eğrilikteki yüzeylerin enterpolasyonunu yapar ve kırık hatları yeterli düzeyde temsil eder.

Her bir grid ağı için, sonlu yüzey elemanlarının iki tipi kullanılır; bilineer ya da bikübik. Bilineer durum 1978'de Uluslararası Jeodezik Hafta'da (Obergurgl) ve ISP Comm. III Sempozyumunda (Moskova) da sunulmuştur.

Bilineer elemanlarla bikübik elemanlar yer değiştirirse, grid ağının eni büyütülebilir ve hesaplamaya harcanan güç de düşer. Diğer bir deyişle; kırık hatların gözönüne alınması bikübik elemanlarla çalışırken daha karmaşık bir yapı gösterirler. Bu nedenle HIFI proğram paketi, kırık hatları kap-

sayan araziler için bilineer değişkenleri, kırık hatlar olmadığı zaman bikübik değişkenleri olarak hesaplamaları yürütür.

Proğram paketinin geliştirilmesi Carl Zeiss firmasının desteğiyle yapılmıştır. HIFI proğramı, PLANICOMP C100 aleti ile analitik ortoprojektör ORTHOCOMP Z2 kombinasyonuyla çalışabilir.

Elde mevcut iki proğram uyarlaması vardır. Daha küçük olan HIFI-P proğramı, bikübik sonlu elemanları kullanarak kırık hatlar bulunmayan arazi verilerinden sayısal yükseklik modelini enterpole eder. Örneklem noktaları; eş yükselti eğrileri boyunca, profiller boyunca, grid noktalarında ya da rasgele dağılımda bulunabilirler.

Sayısal yükseklik modelinden, HIFI-P ile, sayısal PROFİLLER türetilebilir ve ORTHOCOMP Z2 ile ortofotc üretiminde kullanılabilir.

Geliştirilmiş proğram uyarlaması olan HIFI-PC; bilineer sonlu elemanları kullanarak, rasgele dağılımdaki örneklem noktaları ve kırık hatlardan sayısal yükseklik modelini enterpole eder. Eğer kırık hatlar verilmemişse, otomati olarak bikübik değişkenler devreye girer. Daha sonra HIFI-PC, sayısal PROFİLLERİN ve sayısal yükseklik modellerinden sayısal eş yükselti eğrilerinin (CONTOUR LINES) türetilmesi seçeneğini ortaya koymaktadır. Eş yükselti eğri aralığı kullanıcı tarafından seçilebilir ve hesaplanan eş yükselti eğrileri, Zeiss'in sayısal çizim masaları ile çizdirilebilir.

Her iki proğram uyarlaması da verilen kontrol (nirengi) noktalarına göre modelin mutlak yöneltmesini gerçekleştirirler. Profiller ve eş yükselti eğrileriyle ilgili diğer bilgiler sayısal yükseklik modelinden türetilebilir. Buna en iyi bir örnek olarak, eğim haritalarının üretimi için gerekli bilgiler verilebilir.

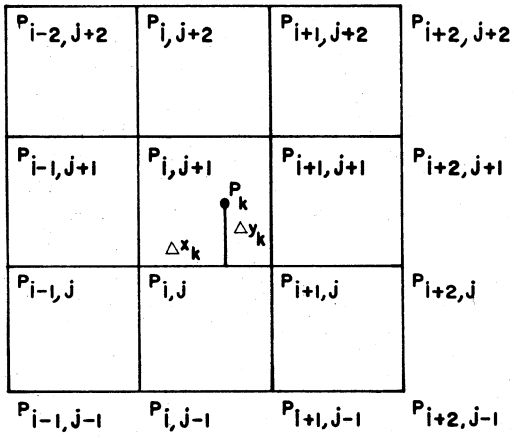
Sayısal yükseklik modelinin enterpolasyonu, profiller ve eş yükselti eğrileriyle ilgili prensipler ayrıntılı bir şekilde bundan sonraki bölümlerde açıklanacaktır. Daha sonraki bölümlerde HIFI-P ve HIFI-PC proğramları blok diyağramları halinde anlatılacaktır. Son olarak, proğram paketinin etkinliğini göstermek amacıyla, yapılan uygulama sonuçları sergilenecektir.

2. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİNİN ENTERPOLASYONU PRENSİPLERİ VE SAYISAL PROFİLLERİN VE SAYISAL EŞ YÜKSELTİ EĞRİLERİNİN TÜRETİLMESİ

2.1. Bilineer Sonlu Elemanlarla Sayısal Yükseklik Modeli Enterpolasyonu

Bu durumda, her bir grid ağının ve enterpolasyon yüzeyinin hesaplanmasında ayrı bir bilineer polinom kullanılır. Bu sonlu elemanlarla şekillendirilen yüzey, sürekli kabül edilir. Matematik formülasyon bütün P_{ij} grid noktaları için tanımlanmış bilineer spline S_{ij} nin kullanımı ile bulunur. Bu splineler; grid noktaları P_{ij} lerde maksimum değeri 1 olacak şekilde, çevresindeki 4 grid ağı ile sınırlandırılır. Bu konudaki ayrıntılı bilgi yayınlarda mevcuttur (SUNKEL H. : Lokale Interpolation von Schweredaten durch spline-Funktionen Vorgelegt beim Alpengravimetrie _ Kolloquium,Wein, 1977).

Şekil 1'de gösterildiği gibi grid ağının iç tarafında yer alan bir P_k noktasının koordinatları X_k ,Y_k olsun. Enterpolasyon yüzeyinin ilgili h_k yüksekliği, civardaki 4 grid noktasının $p_{i,j}$,$P_{i+1,j}$,$P_{i,j+1}$, $P_{i+1,j+1}$ yüksekliklerinin lineer bir fonksiyonudur ve katsayılar; ΔX_k , ΔY_k bölgesel koordinatlarının bir bilineer fonksiyonudur.



$$\Delta x_k = (x_k - x_i)/d, \quad 0 \le \Delta x_k < 1$$

$$\Delta y_k = (y_k - y_j)/d, \quad 0 \le \Delta y_k < 1$$

$$d = x_{i+1} - x_i = y_{j+1} - y_j$$

ŞEKİL : 1

Sayısal yükseklik modelinin istenen grid yükseklikleri, bilinmeyenler olarak tanımlanır ve elde mevcut örneklem noktalarının h_k yüksekliklerinden ve örneklem noktalarındaki filitreleme ile enterpolasyon yüzeyinin minimize edilmiş genel eğriliğinden kestirilir. Bu problem, endirek ölçüler

dengelemesi olarak düşünülüp, en küçük kareler yöntemi kullanılarak çözülebilir.

Örneklem noktası $P_k(X_k, Y_k, h_k)$'nın h_k yüksekliği, X_k ve Y_k konumundaki enterpolasyon yüzeyinin bilinmeyen yükseklik gözlemi olarak kabul edilir. Bu bilinmeyen yükseklik, civardaki 4 grid yüksekliğinin lineer bir fonksiyonudur. Daha sonra P_k örneklem noktalarıyla dört bilinmeyeni de içerecek şekilde gözlem denklemleri yazılır. Katsayılar ΔX_k ve ΔY_k nın lineer fonksiyonudur. 1 nolu eşitlik bu ilişkiyi ayrıntılı bir şekilde göstermektedir. V_k değeri, h_k nın en küçük kareler yöntemine göre düzeltmesidir.

$$V_k = (1-\Delta X_k)(1-\Delta Y_k).h_{i,j} + \Delta X_k.(1-\Delta Y_k).h_{i+1,j} \qquad (1)$$

$$+(1-\Delta X_k).\Delta Y_k.h_{i,j+1} + \Delta X_k.\Delta Y_k.h_{i+1,j+1} - h_k$$

(1) tipindeki eşitliklerde; arzu edilen filitreleme miktarına ve h_k gözlemlerinin doğruluğuna bağlı olarak, ağırlıklar ayrı ayrı verilebilir.

Bilineer değişkenlerle eğriliğin minimizesi tam olarak gerçekleştirilmez; çünki,enterpolasyon yüzeyindeki tüm ikinci türevler sıfırdır. Bu nedenle, yüksekliklerin ikinci farkları kullanılır. Her bir grid noktası için ikinci farklar, X ve Y yönlerinde formüle edilirler ve sıfır değerli yapay gözlemler gibi ve belli bir stokastik özellikle dikkate alınırlar. $P_{i,j}$ grid noktası için ilgili gözlem denklemleri (Şekil 1'de gösterildiği gibi) aşağıdaki şekle dönüşür.

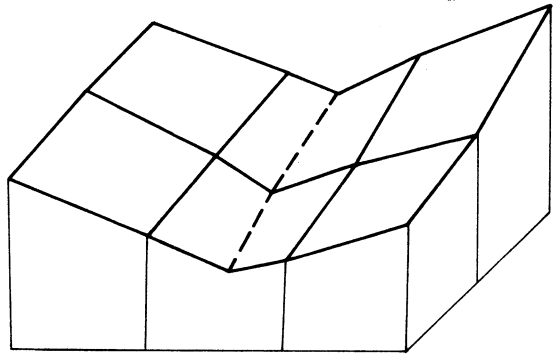
$$V_{1,i,j} = h_{i-1,j} - 2\,h_{i,j} + h_{i+1,j} \qquad (2)$$

$$V_{2,i,j} = h_{i,j-1} - 2\,h_{i,j} + h_{i,j+1}$$

En basit yol; yapay gözlemleri korelasyonsuz ve eşit ağırlıklı kabul edip, homojen ve izotrop arazi için uygun olduğunu varsaymaktır. Arzu edilen durum bu kabülle kısıtlanmaz; fakat, modellendirilebilecek arazi yüzeyinin bölgesel yüzeyleri ile yapma gözlemlerin daha genel stokastik özelliklerine izin verilir. Tek boyutlu enterpolasyon için uygun bir örnek (EBNER H. and REISS P. : Height Interpolation by the Method of Finite Elements,

Presented Paper, ISP Comm. III Symposium, Moscow, 1978)'de verilmektedir. Bu düşüncenin genel olarak gerçekleştirilmesi halen çalışma konusudur.

Uzayda tek noktaların bir dizisi olarak verilen kırık hatlar, basit ve doğrudan bir gösterimle Şekil 2'deki gibi kabül edilebilirler. Bu amaç için; ayrı ayrı kırık hatlar, başlangıçta bir poligon, ileride ise filitrelenmiş nokta olarak temsil edilecektir. Daha sonra, sayısal yükseklik modelinin grid hatlarından geçen düşey düzlemlerle kırık hatların ara kesitleri hesaplanır ve (2) numaralı gözlem denklemleri herhangi bir şekilde değiştirilir. Kırık çizgileri kesen hatlardaki birleşmeler (ek yerleri)hariç tutulur ve kavşak noktalarında keskin dönüşler görülebilir.



ŞEKİL : 2

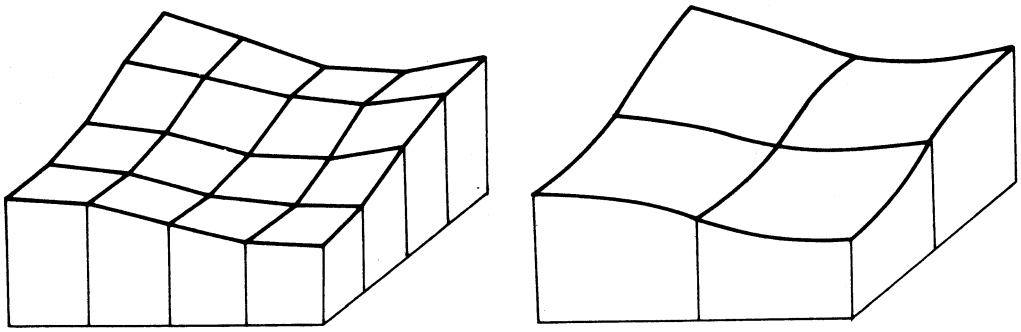
(1) nci tip eşitlikler bütün örneklem noktaları için yazılır ve (2) nci tip eşitliklerin toplamı; köşegen ağırlık matrisi kullanılması durumunda kırık hatların komşularında değiştirilir ve bunlardan gözlem eşitlikleri oluşturulur. Bu durumda normal denklemler band şeklinde elde edilmiş olur. n sayıda grid çizgisinden ve her grid çizgisinde m sayıda noktadan oluşan dikdörtgen bir alan düşünüldüğünde, bilinmeyen sayısı m.n dir ve band genişliği m ile orantılıdır. HIFI proğram paketinde kullanıldığı gibi normal denklemlmerin doğrudan çözümünde hesaplama zamanı sabit.m^3.n olur. Bu toplam zaman, her bir grid noktası için hesaplama zamanı m^2 ile orantılı olduğu durumlarda geçerlidir. Böylelikle her grid hattındaki m nokta sayısı azaltılarak hesaplama zamanı da azaltılabilir. Bunun için; n sayıdaki profillerden oluşan toplam alan alt parçalara ayrılmalıdır. Bu alt parçalarda,her hattaki grid noktası sayıları azaltılmalıdır. Alt parçalar yeteri kadar bindirmeli olmalı ve birbiri ardınca işleme girmelidir.

Bilineer sonlu elemanlarla sayısal yükseklik modeli enterpolasyonuyla ilgili olarak iki yayın önerilebilir. (ZUMOFEN G. und TEONI M. : Neue Programmsysteme zur Berechnung und Darstellung von Isolinien mit Hilfe von Kleincomputern. Wermessung Photogrammetrie, Kulturtechnik, 189-194,1977 : De MASSON d' AUTUME G. : Surface Modelling by Means of an Elastic Grid, Presented Paper, ISP-Comm. III-Symposium, Moscow,1978,Photogrammetria 65_74, 1979).

Tavsiye edilen bu makalelerdeki kavramlarla, burada kullanılan yöntem birbirine çok benzemektedir. Birbirinden bağımsız olarak yazılmış olan her iki yayın da yöntemin etkinliğini teyit etmektedir.

2.2. Bikübik Sonlu Elemanlarla Sayısal Yükseklik Modeli Enterpolasyonu

Bu durumda, her bir grid ağı ve enterpolasyon yüzeyi için bir bikübik polinom kullanılmakta ve oluşturulan bu yüzey sürekli kabül edilmektedir. Süreklilik, fonksiyonel değerleri kısıtlamaz; fakat, birinci ve ikinci türevleri etkiler. Enterpolasyon yüzeyinin düzgünlüğü (smoothness), bilineer değişkenlerle kıyaslandığında ağ genişliğinin artmasına izin verir. Bu durum Şekil 3'de gösterilmiştir.



ŞEKİL:3 Bilineer sonlu elemanlarla (solda) ve bikübik sonlu elemanlarla (sağda) oluşturulan enterpolasyon yüzeyleri

Bölüm 2.1'deki gibi; matematik formülasyon, bütün $P_{i,j}$ noktaları için belirlenmiş $S_{i,j}$ splinelerinin kullanımıyla bulunur. Burada bikübik splineler kullanılmaktadır. Bu splinelerin temeli, $P_{i,j}$ grid noktasında maksimum değeri alacak şekilde grid ağının 16 noktasına kadar uzanır.

Burada da enterpolasyon yüzeyi $\alpha_{i,j}$ yerel yüzeylerinin toplamından oluşmaktadır. Ancak buradaki $\alpha_{i,j}$ değerleri; grid noktalarındaki $h_{i,j}$ yüksekliklerine eşit olmayıp, $S_{i,j}$ temel splinelerin enterpolasyon yüzeyine katkısını göstermektedir.

Şekil 1'deki gösterildiği gibi; X_k, Y_k konumundaki enterpolasyon yüzeyinin h_k yüksekliği, hesaplanacak nokta civarındaki 16 grid noktasının α parametresinin lineer bir fonksiyonudur. Katsayılar; $\Delta X_k, \Delta Y_k$ yerel koordinatlarının bikübik fonksiyonudur.

Dengelemede α değerleri bilinmeyenler olarak tanımlanırlar ve grid noktalarındaki eğrilikler ve örneklem noktaları için gözlem denklemlerinden kestirilirler. Oluşturulacak eşitlikler (1) ve (2) eşitliklerinden daha karmaşık bir yapıya sahiptir ve burada ayrıntılı şekilde gösterilmeyecektir. Örneklem noktaları için yazılan gözlem denklemlerinde 16 bilinmeyen α parametresi olmasına karşın, eğrilik eşitlikleri sadece 9 parametreyi kapsar. Eğrilikler, oluşturulan enterpolasyon yüzeyinin ikinci türevleridir. Daha önce sözü edildiği gibi kırık hatların bikübik değişkenlerde bir önemi yoktur.

Bölüm 2.1'de açıklanan normal denklemlerin yapısıyla ilgili öneriler; band genişliği , bindirmeli olarak oluşturulan alt parçalarla ilgili konular burada da geçerlidir. Enterpolasyon yüzeyinin tamamında belirlenmiş α parametreleri dengeleme sonucunda bulunmaktadır. Grid noktalarındaki yükseklikler ve X_k, Y_k rasgele dağılımdaki noktalardaki yükseklikler civarındaki 9 ya da 16 grid noktasının α parametrelerinden doğrudan doğruya hesaplanabilir. Bu, sayısal yükseklik modelinin tüm yoğunlukları için basit bir şekilde hesaplama yapmaya izin verir.

Sayısal yükseklik modeli enterpolasyonu Kubik'in önerdiği (KUBIK K. : The Application of Piecewise Polynomials to Problems of Curve and Surface Approximation, Rijkswaterstaat Communications 12, The Hague, 1971) parça parça bikübik polinomlara dayanmaktadır. HIFI proğram paketinin bikübik değişkenleri KUBIK'in düşüncesine benzer şekildedir.

Ancak proğramda, spline fonksiyonların değişik bir formülasyonu hesaplama işlemlerini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır.

2.3. Sayısal Yükseklik Modellerinden Sayısal Profillerin Türetilmesi

Bölüm 2.2'ye göre sayısal yükseklik modellerinden kolay bir şekilde türetilen sayısal profiller ortofoto basımı amaçlı olarak kullanılabilirler. Bikübik sayısal yükseklik modelinin tüm yükseklik bilgilerini ayrıntılı bir şekilde inceleyebilmek için; komşu profiller arası uzaklığın ve bir profildeki noktalar arasındaki uzaklığın SYM ağının genişliğinden küçük seçilmesi tavsiye edilmektedir. Her bir profil noktasının yüksekliği; Bölüm 2.2'de açıklandığı gibi, α parametrelerinden hesaplanır. Sayısal profillerin türetilmesi Bölüm 2.1'de açıklandığı gibi de yapılabilir. Bu durumda; profiller arası uzaklık, bilineer SYM'nin ağ genişliğine eşit seçilmesi tavsiye edilmektedir.

2.4. SYM'den Sayısal Eş Yükselti Eğrilerinin Türetilmesi

SYM, ister bilineer istersé bikübik sonlu elemanlarla enterpole edilmiş olsun, istenen aralıklarda sayısal eş yükselti eğrilerinin hesaplanması ve sayısal çizim masasında çizim için hazırlanması olasıdır. Bu işlem üç ardışık adımda yapılmaktadır.

Birinci adımda; SYM'nin grid hatlarından geçen düşey düzlemler ile eş yükselti eğrilerinin arakesitleri, her bir düşey düzlem için ayrı ayrı olmak üzere nonlineer enterpolasyonlarla belirlenir.

Bilineer SYM'nin kullanılması durumunda, örneklem noktası olarak kullanılan grid noktaları ve kırık hatlar üzerinde bulunan noktalar bu düşey düzlemlerde yer alırlar. Seçilen enterpolasyon Akima'nın yöntemine benzer şekildedir (AKIMA H.:A New Method of the Association for Computing Machinary The Hague, 1971) ve filitreleme söz konusu değildir.

Enterpolasyon sonunda bulunan eğrinin bütün noktalarda birinci türevleri süreklidir, ancak keskin dönüşlere izin verilen kırık hatlardaki noktalarda bu süreklilik yoktur. Eğer SYM, bikübik elemanlarla enterpole edilmişse; α parametresiyle tanımlanan yüzey, Bölüm 2.2'de gösterildiği gibi ikinci türevlere kadar süreklidir. Bu nedenle, düşey grid düzlemleri ile eş yükselti eğrilerinin ara kesitleri, α parametresinden doğrudan doğruya hesaplanabilir.

Birinci adımda belirlenen eş yükselti eğrilerinin bütün noktaları, SYM'nin grid çizgilerinde yer almaktadır. İkinci adımda; eş yükselti eğrilerinin üzerinde bulunan diğer noktalar, bu noktalardan enterpole edilir.

Eğer SYM bilineer elemanlardan ve kırık hatlardan oluşuyorsa; eş yükselti eğrileri ile bu hatların kesim yerleri ek örneklem noktası olarak kullanılır. Enterpolasyon yine Akima'nın yöntemine benzemektedir. Elde edilen enterpolasyon eğrisi örneklem noktalarından geçer ve birinci türevleri süreklidir. Keskin dönüşlere sadece kırık hatlarla olan kesişmelerde izin verilir. Eğer SYM, Bölüm 2.2'ye göre enterpole edilmişse, eş yükselti eğrileri üzerindeki noktalar α parametresi ve birinci adımda elde edilmiş olan noktalar yardımıyle hesaplanabilir.

Son adım olan üçüncü adımda; eş yükselti eğrileri, kırık çizgilerden oluşan poligonlar olarak temsil edilir ve çizim için hazırlanır. Bu poligonların kırık noktaları arasındaki uzunluklar değişir ve çizilecek eş yükselti eğrileri düzgün gözükecek şekilde seçilir. Keskin dönüşlerin olacağı yerlerde, arazinin kırık hatları ile olan kesişmelerde bu düzgünlük yoktur.

3. PROĞRAM PAKETİ HAKKINDA BİLGİLER

3.1. HIFI-P Proğram Uyarlaması

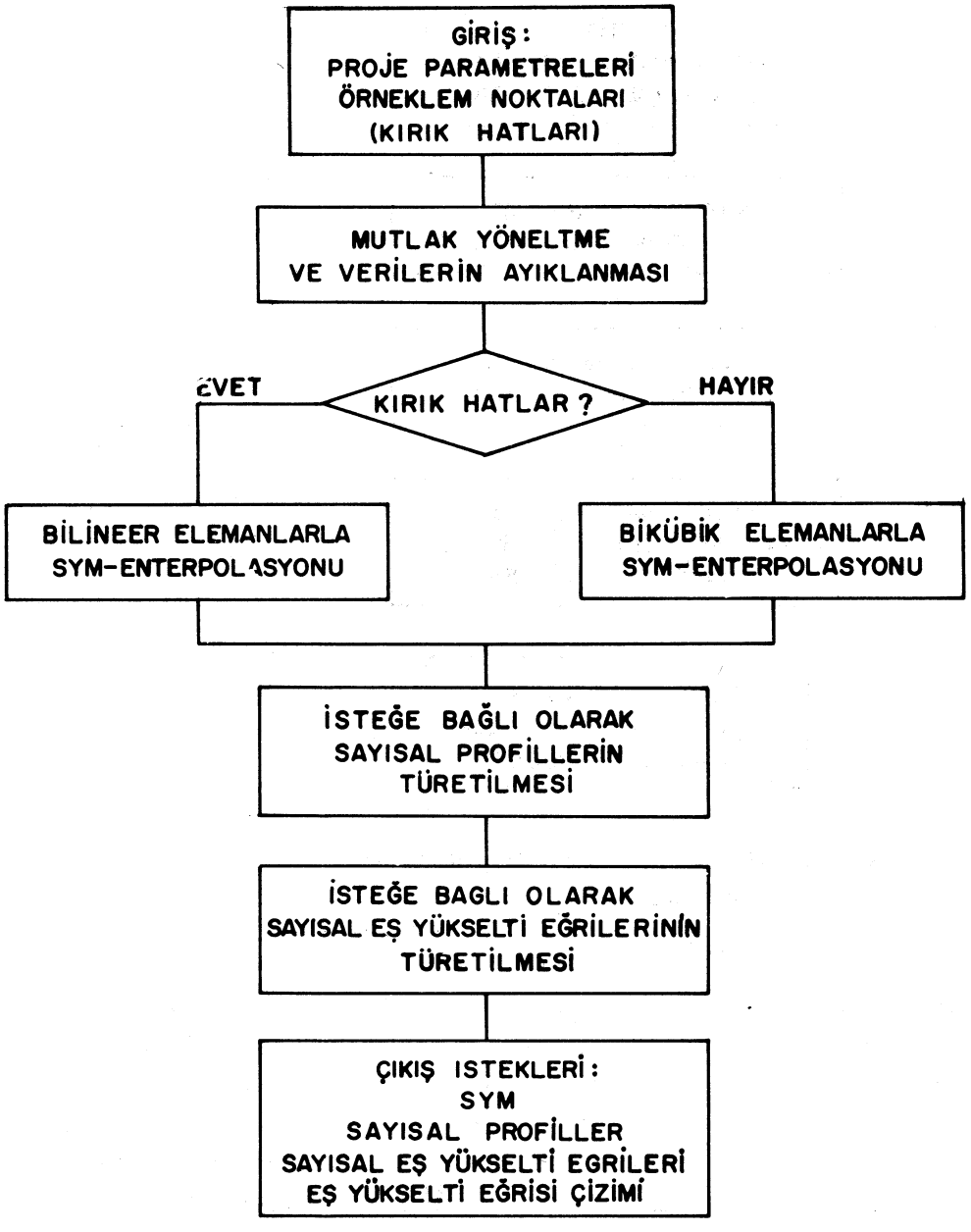
Proğram paketinin bu küçük uyarlaması bikübik sonlu elemanlarla, SYM enterpolasyonu yapar. Bu SYM'den, ORTHOCOMP Z2 ile ortofoto üretimi için kullanılmak üzere sayısal profiller üretir. HIFI-P, FORTRAN dilinde yazılmış ve bir mini bilgisayarda - Hewlett Packard HP 1000 - çalışır.

RTE IV işletim ve ORTHOCOMP Z2 ya da PLANICOMP C100 ile bağlantı durumunda, minimum 96 K word'lük çekirdek bellek kapasitesi gerektirir. Bölüm 2.1'de sözü edildiği gibi; hesaplama zamanını azaltmak için tüm alan belli genişlikte kolonlardan oluşan bir kaç alt parçaya ayrılabilir. Bu alt bölümleme proğramda otomatik olarak yapılmaktadır. Kolonlar uygun bindirmeli ve ardışık olarak oluşturulur. Bu işlemle büyük alanlar bile makul bilgisayar zamanıyla hesaplanabilir. HIFI -P proğram uyarlamasının blok diyağramı Şekil 4 'de görüldüğü gibidir.

SEKİL: 4 HIFI-P Program Uyarlanmasının Blok Diyagramı

3.2. HIFI-PC Proğram Uyarlaması

Bu geliştirilmiş proğram uyarlaması bilineer elemanlarla da SYM enterpolasyonu yapmaktadır. Eğer kırık varsa bilineer, yoksa bikübik elemanlar kullanılmaktadır. SYM'den sayısal profiller ve istenen aralıklarda sayısal eş yükselti eğrileri türetilebilir. HIFI-PC de FORTRAN dilinde yazılmıştır ve bir mini bilgisayarda - Hewlett Packard HP 1000 - çalışır. RTE IV işletim sistemi ve ORTHOCOMP Z2 ya da PLANICOMP C100 ile bağlandığı durumda minimum çekirdek bellek gereksinimi 128 K word'dür. Bölüm 3.1'de açıklanan, bindirmeli alt bölümlemeler burada da olasıdır. Hesaplanan eş yükselti eğrileri Zeiss'in sayısal çizim masalarından birisi ile çizdirilebilir. HIFI PC proğram uyarlamasının bir blok diyağramı Şekil 5'de görülmektedir.



ŞEKİL: 5 HIFI-PC Program Uyarlanmasının Blok Diyagramı

4. PRATİK UYGULAMALAR VE SONUÇLAR

Sonlu elemanlarla yükseklik enterpolasyonunun ilk pratik uygulama sonuçları aşağıdaki yayınlarda sunulmuştur.

- EBNER H, and REISS P. : Height Interpolation by the Method of Finite Elements, Presented Paper, ISP Comm. III- Symposium, Moscow, 1978. Nachrichten aus dem Kartenund Wermessungswesen, Reihe II, Heft 36, 79-94, 1978.

- EBNER H. REISS P. : Photogrammetrische Herstellung von Gefallstufem karten. Schriftenreiche der Arge Flurb,Helf 3, 17-27, 1980.

- PEIPE J., REISS P. und RENTESCH H. : Zur Anwendung des digitalen Gelandemodells in der Gletscherforschung. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 161-172, 1978.

Bu yazıda ise uygulamalardan iki tanesi sergilenecektir.

Sözü edilen projeler için verilerin toplanması, Zeiss PLANICOMP C100 analitik stereo değerlendirme sistemi kullanılarak Münih Teknik Üniversitesinin Fotogrametri Bölümünde yapılmıştır. Sayısal yükseklik modelini hesaplamak için; Leibniz Hesaplama Merkezi (Münih)'nde bulunan CDC Cyber 175 bilgisayarında bir hazırlık proğramı uyarlaması kullanılmıştır (bu proğram bilineer yüzey elemanlarını kullanmakta ve gerektiğinde kırık hatları da kabul etmektedir).

4.1. "Hoellentalferner 1977" test Alanı

Girdiler :

1 stereomodel (resim ölçeği 1/11 000, kamera Zeiss RMK 30/23, Bavarian Alplerinde " Hoellentalferner " buzulunu kaplamaktadır)

Verilerin Örneklenmesi :

- Eş yükselti eğrilerinin kayıtı (10 metre eğri aralığıyla)
- Kırık hatların kayıtı (buzul sınırları da kayıt edilmiştir.)
- Planimetrik çizgilerin kayıtı (eski kar ve "firn" sınırları)

- Zeiss DZ 6 (ölçek 1/2 500) sayısal çizim masasında kayıt edilen hatların çevrim içi (on-line) çizimi

Operatör : H. RENTSCH

Bilgilerin İşlenmesi :

- 570 x 560 m^2 lik bir alt alan için SYM'nin enterpolasyonu (10 m. grid) (Cyber 175 bilgisayarında 40 CPU saniye hesaplama zamanı)
- CCT (Computer Compatible Tabe)'ler kullanılarak SYM verilerinin Hewlett Packard HP 1000 mini bilgisayarına aktarılması
- SYM'den eş yükselti eğrilerinin türetilmesi (HP 1000'de hesaplama zamanı 2 dakika civarında)

Çıktılar :

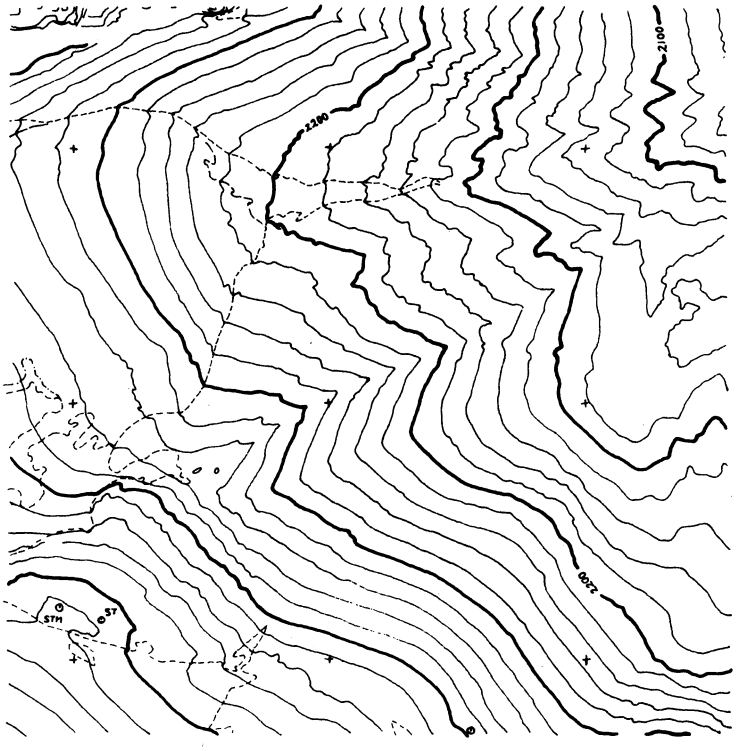
DZ 6 sayısal çizim masasında hesaplanan eş yükselti eğrilerinin çizdirilmesi ile (ölçek 1/2 5000) elde edilen harita. Çizim zamanı 22 dakika civarında.

Şekil 6'da SYM'nin kaplayacağı alanın çevrim içi (on-line)çiziminden bir parça görülmektedir (eş yükselti eğri aralığı 10 m., buzul, eski kar ve "firn" sınırları mevcut).

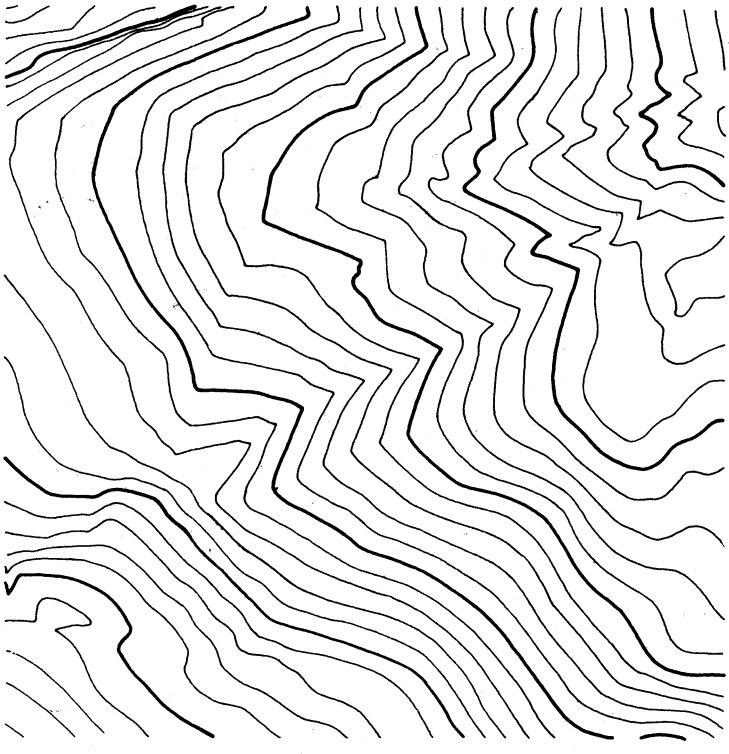
Şekil 7, DZ 6 çizim masası kullanılarak SYM'den türetilmiş eş yükselti eğrilerinin otomatik olarak çizilmişini göstermektedir.

Açıklamalar :

Cyber 175 bilgisayarında, SYM'nin enterpolasyonu için 40 CPU saniye zaman gerekmiştir (alt bölümleme yok). Bütün alan 4 kolona bölündüğünde HP 1000 minibilgisayarında aynı enterpolasyon için 25 dakika gerekecektir.



ŞEKİL : 6 "HOELLETALFERNER" TEST ARAZİSİNİN BİR PARÇASININ ÇEVRİM İÇİ ÇİZİMİ



SEKİL : 7 "HOELLENTALFERNER" TEST ARAZİSİNİN SYM'DEN TÜRETİLMİŞ EŞ YÜKSELTİ EGRİSİNİN OTOMATİK ÇİZİMİ

4.2. "Donauwoerth" Test Alanı

Girdiler:

1 stereo model (resim ölçeği 1/14 400, kamera Zeiss RMK 15/23) Model 1/5 000'lik harita paftasının sol yarısını kaplamaktadır. İlgili alan 2350 x 1200 m^2 dir.

Verilerin Örneklenmesi :

- 10 metrelik kare gridler halinde yüksekliklerin kayıtı
- Profillerin kayıtı (profiller arası 20 metre, tarak şeklinde tarama)
- Eş yükselti eğrilerinin kayıtı (aralık 2.5 m., eğer gerekiyorsa ara eş yükselti eğrileri)
- Kırık hatların ve kot noktalarının kayıtı
- Yolların ve orman sınırlarının kayıtı.

Operatör : M. SPINDLER

Verilerin işlenmesi :

Şimdiye kadar farklı arazi karekterlerinden oluşan iki alt alan tespit edilmiştir (boyut 600x600 m^2). Kayıt edilen veri alt grupları örneklem noktası olarak kullanılmış ve alt grupdaki veri yoğunluğu da değişik olmuştur. Enterpole edilen SYM'deki parçaların genişliği 10 m.olarak alınmış ve kırık hatlar da hesaba katılmıştır. SYM'nin enterpole ile bulunan yükseklikleri ile fotogrametri aletindeki direkt ölçmeler kıyaslamaya tabi tutulmuştur. Tablo 1, ilgili noktaların yükseklik farklarının karesel ortalama hatlarını göstermektedir.

Grid noktalarındaki yükseklik ölçmelerinin standart sapmaları yineleme ölçülerinden kestirilmiş ve bu değer 0.25 m. civarında bulunmuştur. Bu değer %0 0.1 H (H:Uçuş yüksekliği)'ya karşılık gelmektedir. Bundan dolayı Tablo 1' de verilen değerler, metrenin ondasına kadardır.

Açıklamalar:

Tablo 1'deki değerler, sürekli örneklemeden daha duyarlı olan nokta

örnekleme ölçümlerine dayanmaktadır. Üstelik grid ölçümleri daha az zaman gerektirmektedir. Aynı sonuçlar daha önce yapılan bir başka çalışmada da bulunmuştur.

"Donauwoerth" test alanı için daha ayrıntılı bir araştırma Münih Teknik Üniversitesi Fotogrametri Bölümünde yapılmaktadır. Alınan sonuçlar daha sonra yayınlanacaktır.

TABLO : I ENTERPOLE EDİLEN VE ÖLÇÜLEN GRİD NOKTALARI ARASINDAKİ FARKLARIN KARESEL ORTALAMA HATALARI

ENTERPOLASYON İÇİN KULLANILAN ÖRNEKLEM NOKTALARI	ARAZİ YÜZEYİ	
	DİK, DEĞİŞEN EGİMLER, BARİZ KIRIK HATLAR	DÜZ, HAFİF KIRIK HATLAR
20 M.– GRİD	0,4 M.	0,3 M.
30 M.– GRİD	0,5 M.	0,4 M.
40 M.– GRİD	0,6 M.	0,4 M.
20 M.– PROFİL	0,6 M.	0,5 M.
40 M.– PROFİL	0,7 M.	0,6 M.
2,5 M.– EŞ YÜKSELTİ EĞRİSİ	0,5 M.	0,5 M.