

**UOT 004.04**

*Aliyev E.M.*

MAKA-nın T.K.İsmayılov adına Təbii Ehtiyatların Kosmik Tədqiqi İnstitutu, Bakı, Azərbaycan  
[elvin.aliyev.m@gmail.com](mailto:elvin.aliyev.m@gmail.com)

**GEOİNFORMASIYA MODELƏŞDİRİLMƏSİNDƏ TRANSFORMASIYA VƏ  
INTERPOLYASIYA MƏSƏLƏLƏRİ**

*Geoinformasiya modelinin yaradılmasında qarşıya çıxan əsas problemlərdən biri verilənlərin georeferens və interpolyasiya olunması məsələləridir. Məqalədə bu istiqamətdə müxtəlif miqyaslı rastr xəritələrinin transformasiyası məsələlərinə baxılmış, georeferens əməliyyatları çərçivəsində mövcud üsullar şərh olunmuş, interpolyasiyanın bir sıra deterministik və geostatistik üsulları öz əksini tapmışdır. Bundan başqa, geoinformasiya modelləşdirilməsi məqsədi ilə LIDAR və GeoEye-1 verilənlərinin analizləri aparılmışdır.*

**Açar sözlər:** *Laqranj çoxhədliyi, interpolyasiya, LIDAR, GeoEye-1, Affin, Polinom, ArcGIS, transformasiya, georeferens, multispektral, IDW.*

**Tədqiqatın məqsədi və aktuallığı**

Geoinformasiya sistemlərində yerinə yetirilən layihələrdə qarşıya çıxan əsas məsələlər georeferens əməliyyatları ilə bağlı olur. Bundan başqa, məkan məlumatlarının interpolyasiyası da lazım gəlir ki, bu da geoinformasiya modelləşdirilməsində mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Obyekt və hadisələrin geoinformasiya modelləşdirilməsi bir sıra mərhələləri özündə əks etdirir. Bu mərhələlər tədqiq olunan obyekt və hadisələrin dəqiq atribut informasiyalara malik olmasından və onların məkan əlaqələrindən ibarətdir. Belə model obyekt və hadisənin konkret xüsusiyyətlərini özündə əks etdirməklə, mövcud vəziyyətin baxılmasına və proqnozlaşdırma zamanı səmərəli nəticələrin əldə olunmasına imkan verir. Bu zaman baxılan obyekt və hadisə reallıqda mövcud olmaya da bilər. Xüsusi təqdimetmə formasına aid olan geoinformasiya modellərinin yaradılmasında maraq kəsb edən məsələ tədqiq edilən obyekt və hadisənin hansı zaman intervalına aid olması deyil, onun xassələrinin, obrazının naturada daha dəqiq təsvirinin təmin edilməsidir. Belə ki, bizi əhatə edən aləm, obyekt və hadisələr mürəkkəb sistemi təşkil edir. Bəzən bu mürəkkəb və unikal sistemdə gedən hər hansı prosesin, həmçinin baş verən hadisənin bütün hissələri ilə öyrənilməsi mümkün olmur. Belə modellər həm mövcud vəziyyəti, həm də proqnozlaşdırma kimi xassələri özündə əks etdirir. Bunun üçün müxtəlif müasir yanaşmalar, metod və alqoritmlər mövcuddur. Geoinformasiya modelləri də müasir yanaşmalara əsaslanırlar və onların xüsusi özəllikləri ondan ibarətdir ki, onlar obyekt və hadisə haqqında geniş məlumat vermək imkanına malikdirlər. Buna səbəb, qrafiki və mətn verilənləri haqqında məlumatların həmin modellərdə cəmlənməsidir. Geoinformasiya modellərinin üstün cəhətlərindən biri də onların müvafiq koordinat sistemində və kartoqrafik proyeksiyalara bağlanması, həmçinin məlum nöqtələrə əsasən trianqulyasiya şəbəkələrinin qurulmasıdır. Məhz bu səbəbdən, geoinformasiya modelinin yaradılmasında iştirak edən faktorlar arasında məkan verilənlərinin transformasiyası və interpolyasiyası xüsusi yer tutur və araşdırılması vacib olan məsələlər hesab olunur.

Georeferens əməliyyatı özündə təsvirin miqyasa gətirilməsini, dönmə bucağının təyin olunmasını, qalıq və digər xətlərin müəyyənləşdirilməsini və s. prosedurların aparılmasını nəzərdə tutur. Bu prosedurlar da təsvirin xassələrindən və onun hansı formaya transformasiya olunmasından asılı olaraq Affin və ya Polinom metodların tətbiqini tələb edir. Bunun üçün isə georeferens əsasında naməlum əmsallar təyin olunur və həmin üsulların geoinformasiya sistemlərində baxılmasına zərurət yaranır. Bu səbəbdən, georeferens üsullarının öyrənilməsi və müxtəlif miqyaslı təsvirlər üzrə hansı transformasiya metodlarının tətbiq olunmasının müəyyən edilməsi vacib məsələlərdəndir. Bu üsulların öyrənilməsi və mövcud metodların müqayisəli analizləri proqramlaşdırma məsələlərində də səmərəli nəticələrin əldə olunmasına xidmət göstərə bilər. Məlumdur ki, geoinformasiya sistemlərində obyekt və hadisələrin modelləşdirilməsi

müxtəlif riyazi metodların tətbiqi ilə öz həllini tapır. Adətən qurulan modellərin nəticələrində müxtəlifliklər və ya oxşarlıqlar müşahidə olunur ki, bu da həmin məsələlərdə bir çox yanaşmaların və metodların olmasını göstərir.

Məqalədə rastr verilənləri üzərində Affin və Polinom transformasiyaların aparılması üsulları şərh olunmuş, həm ümumi təsvir üzrə, həm də hər bir nöqtənin  $x, y$  koordinatlarına uyğun olaraq orta kvadratik xətlərin hesablanması metodlarına baxılmış, geostatistik və digər interpolyasiya üsulları analiz olunmuş, LIDAR verilənləri əsasında TIN (ing. triangulated irregular network) modelin qurulması və bundan irəli gələn bir sıra məsələlər öz əksini tapmışdır.

### Məsələnin həll üsulları

Geoinformasiya modelləşdirilməsinin dəqiqliyi rastr verilənlərinin georeferensindən xeyli asılıdır. Buna səbəb georeferens əməliyyatı zamanı təsvirin coğrafi koordinat sistemində və kartoqrafik proyeksiyaya bağlanmasıdır ki, bu da onun üzərində dəqiq hesablamaların aparılmasına imkan verir, həmçinin yaradılacaq modelin daha dəqiq alınmasına şərait yaradır.

Adətən rastr təsvirlər kağız xəritələrin skaner olunması, aerokosmik məlumatların emalı və digər əməliyyatların aparılması nəticəsində alınır. Skaner olunmuş təsvirlərin məkan bağlantısı olmadığından, onların georeferens əməliyyatına cəlb edilməsi üçün bir çox hallarda koordinat sistemində bağlanmış məkan informasiyalarından istifadə olunur. Bağlantı məqsədi ilə istifadə edilən məkan informasiyaları nöqtəvi və sahəvi, həmçinin xətti xassələrə malik ola bilərlər. Belə informasiyalara, həm də istinad obyektləri deyilir. İstinad obyektləri polinomal çevrilmələrin qurulması üçün istifadə olunurlar ki, onlar da rastr təsvirlərin məkanca dəqiqləşdirilməsi işlərini yerinə yetirirlər. Qeyd edək ki, təsvirin georeferens əməliyyatında koordinat bağlantıları bərabər səviyyədə aparılmalıdır. Belə ki, miqyasın kiçilməsindən asılı olaraq təsvirin bağlanma üsulları müxtəlif olur. Təcrübələr göstərir ki, georeferens əməliyyatı zamanı dəqiqliyin təminatı üçün transformasiyanın təsvir üzərində həm künc, həm də mərkəz hissələrdə aparılması vacibdir. Belə əməliyyatlarda xətlərin minimum həddə çatdırılması üçün deformasiya olunmamış və ayırdetməsi kiçik olmayan təsvirlərdən istifadə olunması mütləqdir. Lakin bu zaman rastr təsvirlərin formalaşdırılmasında istifadə olunan dpi (ing. dots per inch) göstəricilərinə də xüsusi nəzər yetirilməlidir. Belə ki, skanetmə prosesinin keyfiyyəti 1 düymdə olan nöqtələrin sayından asılıdır. Baxılan məsələlərdə yüksək dpi tələb olunur və təsvirin emalı üçün yüksək göstəricilərə malik kompüterlərin istifadəsi lazım gəlir.

Xəritə tərtibi zamanı təsvirlərin elektronlaşdırılmasını yerinə yetirmək üçün iri formatlı skanerlərdən istifadə olunur. Bu əməliyyatların daha dəqiq aparılmasını təmin etmək məqsədi ilə qoyulan minimum tələb 600 dpi göstəricisidir [1]. Təsvirin yüksək göstərici əsasında skan olunması çap zamanı onun natural rənglərinin saxlanılmasına imkan verir. Lakin bu da qeyd olunmalıdır ki, təsvirin ayırdetmə qabiliyyəti nə qədər yüksək olarsa, onun həcmi də bir o qədər böyük olar [2]. Məhz bu səbəbdən, təsvirin keyfiyyətli alınması üçün kiçik miqyaslı (kağız) xəritələrin yüksək dpi göstəriciləri altında skan olunması məqsədəuyğundur.

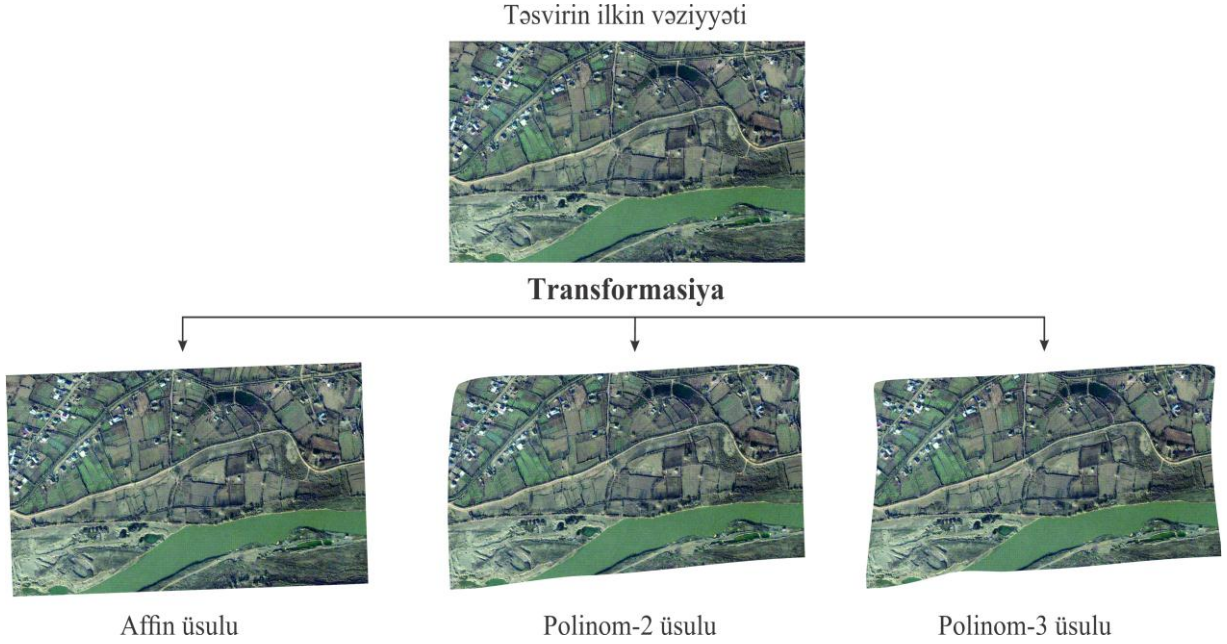
Məqalədə GeoEye-1 verilənlərinin georeferens məsələlərinə baxılmış və bunun üçün polinom-2 metodundan istifadə edilmişdir (şəkil 1).

Rastrın georeferensi zamanı Affin (xətti) üsulunda çevirməni 6 parametr

$$\begin{aligned} u &= a_0 + a_1^x + a_2^y \\ v &= b_0 + b_1^x + b_2^y \end{aligned} \quad (1)$$

kimi təyin edir.

Burada  $(x, y)$ - ilkin koordinat sistemində pikselin koordinatları;  $(u, v)$ -çevirmədən sonra alınmış pikselin koordinatları;  $(a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2)$  - çevirmə əmsallarıdır.



Şəkil 1. İlkin təsvirin Affin və Polinom metodlarla transformasiya olunması

Lakin georeferens zamanı əldə olunan istinad nöqtələrinin çoxluğu polinom-2 üsulunun tətbiqinə zərurət yaratmışdır (şəkil 2). Qeyd etmək lazımdır ki, təsvirin miqyası da bu metodun tətbiq olunmasına imkan vermişdir. Polinom-2 üsulundan istifadə olunduğu halda, tənliklər sistemi aşağıdakı şəkildə ifadə edilə bilər:

$$u = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2$$

$$v = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2$$
(2)

Burada  $(u, v)$  - transformasiyadan sonra alınmış pikselin koordinatları;  $(a_0, b_0)$  - təsvirin  $x$  və  $y$  oxları üzrə yerdəyişmə əmsalları;  $(a_1, a_2, b_1, b_2)$  - miqyasın  $x$  və  $y$  oxları üzrə xətti dəyişmə əmsalları;  $(x, y)$  - ilkin koordinat sistemində mövcud pikselin koordinatları;  $(a_3, b_3)$  - təsvirin dönmə bucağının qiyməti;  $(a_4, a_5, b_4, b_5)$  - miqyasın qeyri-xətti dəyişməsidir.

Beləliklə, çoxhədlinin əmsallarını bilməklə təsvirin koordinatlarının hesablanması üçün ArcGIS proqram təminatında (2) tənliklər sistemindən istifadə edilmişdir. Həmin platformada mövcud olan digər metodlar yüksək təhrifə və deformasiyaya məruz qalmış rastrların çevrilməsi zamanı lazım olduğundan, onların istifadəsi məqsəduyğun hesab edilməmişdir. Polinom-2-nin tətbiqi ilə rastr üzrə orta kvadratik xəta 0,24 m qiymətləndirilmişdir.

İstinad obyektləri təyin olunduqdan sonra rastr verilənləri koordinat sisteminə bağlana bilər və bu prosesi aparmaq üçün polinomal və ya splayn üsulları istifadə olunur. Qeyri-xətti üsullarda isə polinom-2 və onun daha üst metodlarından istifadə edilir. Polinom-3 metodu skan zamanı deformasiya olunmuş xəritələrin bağlantısında tətbiq olunur. Polinom-4 isə çox az hallarda tətbiq olunur və yüksək təhrifli aerofotoşəkillərlə işlədikdə lazım gəlir [3]. Transformasiyada əmsalların qiymətləndirilməsi üçün yerüstü nəzarət nöqtələrinin seçimi mühüm rol oynayır. Bu halda transformasiyanın nəticələrinin dəqiqliyi nəzarət nöqtələrinin seçilmə dəqiqliyi ilə sıx bağlı olur.

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual
1	275026,556767	4426516,667360	275026,547242	4426516,662421	0,08922
2	274978,527906	4425966,081461	274978,515074	4425966,079829	0,00929
3	273918,377257	4425994,389042	273918,370377	4425994,394128	0,03728
4	273911,481313	4426525,458495	273911,484527	4426525,454179	0,01105
5	274506,902777	4426305,433775	274506,737804	4426305,114030	0,62330
6	274624,650581	4426342,518480	274625,064668	4426342,978406	0,35225
7	274624,498999	4426342,327904	274624,892689	4426342,740280	0,30411
8	274624,387613	4426342,135942	274624,575188	4426342,356634	0,04400
9	274624,166681	4426341,864491	274624,363521	4426342,025904	0,01504
10	274572,677864	4426496,032337	274576,252474	4426498,381297	0,00036

Auto Adjust      Transformation: 2nd Order Polynomial  
 Total RMS Error: 0,24835

Şəkil 2. Polinom – 2 metoduna əsasən təsvir üzrə aparılmış georeferensin nəticələri

Qeyd olunmalıdır ki, xətti transformasiyalar polinomal çevirmələrin ən sadə üsulu hesab olunur və bu üsul polinom-1 (Affin üsulu) metodu adlandırılır. Belə transformasiyalar zamanı emal olunmamış rastr təsvirin kartoqrafik proyeksiya müstəvisinə gətirilməsi lazım gəlir. Bu metod əsasən böyük miqyaslı xəritələrin çevrilməsində istifadə olunur. Qeyd edək ki, xətti transformasiya matrisi 6 əmsalın təyin olunmasını nəzərdə tutur [4]. Polinomların dərəcəsi nə qədər yüksək olarsa, təsvir üzərindəki çətin təhriflər də bir o qədər düzəliş edilə bilər. Belə ki, polinomun üst formalarının tətbiq olunması zərurəti istinad nöqtələrinin çoxluğundan irəli gələn məsələdir [5] və kiçik miqyaslı xəritələrin tərtib olunması zamanı lazım gəlir.

Adətən müxtəlif miqyaslı təsvirlərin çevrilməsində onların sıxılma xüsusiyyətləri nəzərə alınmır. Miqyasından asılı olmayaraq müxtəlif xəritələrin tərtibi zamanı və geoinformasiya analizlərinin aparılmasında istənilən özək üzrə məlumat itkisinə yol vermək olmaz.

Sıxılma zamanı təsvirlər elə şəkildə saxlanılır ki, onların ilkin vəziyyətlərini bərpa etmək mümkün olmur və məlumat öz ilkin vəziyyətini tamamilə itirir [6]. Bu səbəbdən, rastr verilənləri ilə işlədikdə sıxılma əməliyyatlarının istifadəsi tövsiyə olunmur.

Təsvirlərin saxlanması üçün müxtəlif növ rastr formatları mövcuddur və onlar informasiya itkisi olmayan (TIFF, BMP), həm də informasiya itkisinə yol verən (JPEG, GIF) formatlardan ibarətdir. Qeyd etmək lazımdır ki, aerokosmik təsvirlərin saxlanması üçün vahid format mövcud deyildir. Lakin yerüstü qəbul məntəqələri və ilkin emal mərkəzləri tərəfindən təqdim edilən çoxzonallı (multispektral) kosmik təsvirlərin formatlarının ümumi struktur elementləri vardır. Buna misal olaraq, təsvir haqqında xidməti məlumatları (məsələn, çəkilişin tarixi və vaxtı, çəkiliş aparatının növü, hündürlüyü, kalibrəmə verilənləri, ilkin emal haqqında informasiya və s.) göstərmək olar. Rəqəmsal təsvirlərin sıxılması bitlərlə və ya baytlarla ifadə edilən qrafiki informasiyanın sıxlaşdırılmasından və həcm baxımından azaldılmasından ibarətdir. Bu əməliyyat məlumatların kiçik ötürmə qabiliyyətli kanallar vasitəsilə peyklərdən Yerə verilməsi zamanı təsvirlərin yazılması və saxlanması üçün tələb edilən yaddaş həcminə qənaət üçün lazımdır. Sıxılma əməliyyatının iki halda: məlumat itkisi ilə və ya itki olmadan həyata keçirilməsi mümkündür. Əgər hər hansı bir təsvirdə eynitonlu obyektlər (təmiz su hövzələri və s.) öz əksini taparsa, bu zaman sıxılma zamanı informasiya itmir və parlaqlıq qiymətləri vahid qiymətlə əvəz edilir. Metodiki olaraq sıxılmanın bu növündə aerokosmik təsvirlərin informasiya həcmi orta hesabla iki dəfə azalır, lakin bu zaman təsvir tamamilə bərpa olunur və bu məsələ dekompressiya

üsulundan istifadə etməklə öz həllini tapır. Dekompressiya zamanı da təsvirin detalları tam təfəsilatı ilə bərpa edilmir [7].

Geoinformasiya sistemlərində ilkin verilənlər topoqrafik xəritələrdən və planlardan, aerokosmik məlumatlardan, yerüstü müşahidələrin nəticələrindən ibarət ola bilər. Adətən geoinformasiya sistemləri platformasında transformasiya məsələləri aşağıdakı metodlarla yerinə yetirilir və bunun üçün iki koordinat sistemi müəyyən olunur. Birinci sistem verilmiş ilkin təsvirlə bağlıdır (təsvirin transformasiya olunmamış vəziyyəti). Bu sistemdə nöqtənin koordinatlarını  $X_{old}, Y_{old}$  adlandırsaq, həmçinin ikinci sistem üzrə (transformasiya olunandan sonra alınmış təsvir) nöqtənin koordinatlarını  $X_{new}, Y_{new}$  kimi ifadə etsək, iki nöqtə üzrə miqyasa gətirmə, dönmə bucağının təyini, yerdəyişmə əmsalının müəyyənlişməsi aşağıdakı üsul vasitəsi ilə yerinə yetirilə bilər (Affin transformasiyasının xüsusi halı) [8]:

$$\left. \begin{aligned} X_{new} &= k(X_{old} - X_0) \cos \theta + (Y_{old} - Y_0) \sin \theta; \\ Y_{new} &= k[-(X_{old} - X_0)] \sin \theta + (Y_{old} - Y_0) \cos \theta, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Burada  $(X_0, Y_0)$  - ikinci sistemin koordinat başlanğıcının birinci sistemin koordinat başlanğıcına əsasən yerdəyişmə qiyməti;  $\theta$  - dönmə bucağı;  $k$  - miqyasa gətirilmə əmsalidir.

Rastr çevrilmələrin Polinom - 5 üsulu ilə yerinə yetirilməsi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\left. \begin{aligned} X_{new} &= a_1 X_{old}^5 + a_2 Y_{old}^5 + a_3 X_{old}^4 Y_{old} + a_4 X_{old}^4 Y_{old}^2 + a_5 X_{old}^3 Y_{old}^2 + a_6 X_{old}^2 Y_{old}^3 + a_7 Y_{old}^4 + \\ &+ a_8 Y_{old}^4 + a_9 X_{old}^3 Y_{old} + a_{10} X_{old} Y_{old}^3 + a_{11} X_{old}^2 Y_{old}^2 + a_{12} X_{old}^3 + a_{13} Y_{old}^3 + a_{14} X_{old}^2 Y_{old} + \\ &+ a_{15} X_{old} Y_{old}^2 + a_{16} X_{old}^2 + a_{17} Y_{old}^2 + a_{18} X_{old} Y_{old} + a_{19} X_{old} + a_{20} Y_{old} + a_{21}; \\ Y_{new} &= a_{22} X_{old}^5 + a_{23} Y_{old}^5 + a_{24} X_{old}^4 Y_{old} + a_{25} X_{old} Y_{old}^4 + a_{26} X_{old}^3 Y_{old}^2 + a_{27} X_{old}^2 Y_{old}^3 + \\ &+ a_{28} X_{old}^4 + a_{29} Y_{old}^4 + a_{30} X_{old}^3 Y_{old} + a_{31} X_{old} Y_{old}^3 + a_{32} X_{old}^2 Y_{old}^2 + a_{33} X_{old}^3 + a_{34} Y_{old}^3 + \\ &+ a_{35} X_{old}^2 Y_{old} + a_{36} X_{old} Y_{old}^2 + a_{37} X_{old}^2 + a_{38} Y_{old}^2 + a_{39} X_{old} Y_{old} + a_{40} X_{old} + a_{41} Y_{old} + a_{42}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Burada  $a_1, a_2, \dots, a_{42}$  - çevrilmə əmsallarıdır.

Polinom üsullarının tətbiqi zamanı əldə olunmuş yekun qiymətlərin nəticələri istinad obyektlərinin çoxluğundan asılı olur və bu zaman həm ümumi rastr üzrə, həm də hər bir istinad nöqtəsi üçün orta kvadratik xətalərin hesablanması mütləqdir.

Aparılan araşdırmalar onu deməyə əsas verir ki, miqyasından asılı olmayaraq istənilən deformasiya olunmuş təsvirin georeferens olunması səmərəli nəticə vermir. Müxtəlif layihə işlərində, mühəndisi məsələlərdə, xüsusi ilə də kadastr və əmlakların hüquqi qeydiyyatı məsələlərində deformasiya olunmuş təsvirlərin, ümumiyyətlə, istifadəsi tövsiyə olunmur. Bəzi hallarda kağız xəritələrin və planların georeferens olunması lazım gəlir. Qeyd olunmalıdır ki, rastrın georeferensi nəticəsində yaranan xətalər müxtəlif qiymətlərə malik olurlar. Bu qiymətlər istinad obyektlərinin sayından asılı olaraq üst polinom üsullarının tətbiqini tələb edirlər.

Aparılan araşdırmalar onu göstərir ki, baxılan məsələlərin daha dəqiq yerinə yetirilməsi üçün koordinatları məlum olan istinad nöqtələrindən və relyefin rəqəmsal modellərindən istifadə olunmalıdır [9]. Təsvirin emalı proseslərinə onun transformasiyası, mozaikaların yaradılması və s. aiddir. Qeyd olunduğu kimi, təsvirin transformasiyası zamanı onun miqyası, bucağı və digər faktorların əmsalları müəyyən olunur. Lakin dağlıq ərazilər üçün ortotransformasiyadan istifadə olunur [10]. Ortotransformasiya əməliyyatı təsvirin ortoqonal proyeksiya müstəvisinə transformasiyasıdır və relyefdən alınmış təhrifləri aradan qaldırır.

Hazırda xəritə və planların tərtibində, həmçinin layihələndirmə işlərində ortofotoplanlar daha geniş istifadə olunurlar və onlar coğrafi əsas kimi istifadə ediləcək daha informativ məlumatlara daxildirlər.

Qeyd etmək lazımdır ki, istənilən halda polinomal modelin bütün dərəcələrini kadastr xəritələrinin məkan bağlantısında tətbiq etmək olar. Lakin bu zaman qalıq (ing. residual) və orta kvadratik xətalara (ing. *RMSE* - *root mean square error*) mütləq baxılmalıdır [11]. Nöqtələrə fərdi şəkildə yanaşmaqla onların qalıq xətalарına əsasən hər bir nöqtə üzrə orta kvadratik xətalар aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$Rx = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n XR_i^2} \quad (5); \quad Ry = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n YR_i^2} \quad (6); \quad T = \sqrt{XR_i^2 + YR_i^2} \quad (7)$$

Burada  $Rx, Ry$  -  $x$  və  $y$  oxları üzrə ümumi orta kvadratik xətalар;  $T$  - ümumi orta kvadratik xəta;  $n$  - istinad obyektlərinin ümumi sayı;  $XR_i$  və  $YR_i$  -  $x$  və  $y$  oxları üzrə  $i$  indeksli qalıq xətalарın qiymətləridir [12].

Müxtəlif riyazi məsələlərin həlli üsullarının öyrənilməsi və onların əsasında alqoritmlərin qurulması obyekt və hadisələrin modelləşdirilməsində mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Ümumiyyətlə, hər hansı bir prosesin hesablamaya riyaziyyatı əsasında tədqiqi zamanı bir neçə mərhələni qeyd etmək lazımdır. İlk mərhələdə riyazi model seçilir, yəni prosesin təsviri üçün cəbri, diferensial, yaxud inteqral tənliklərdən istifadə olunur. Daha dəqiq desək, prosesin təsviri üçün onun müəyyən riyazi struktur şəklində ifadə olunması tələb olunur. Daha sonra məsələnin həlli təqribi ədədi üsulla qurulur, yəni hesablamaya alqoritm seçilir. Sonrakı mərhələlər hesablamaya alqoritmünün proqramlaşdırılması və proqram əsasında hesablamaların aparılması məsələlərindən ibarət olur [13].

Məlumdur ki, funksiya müxtəlif üsullarla verilir. Belə üsullardan biri cədvəl üsuludur: funksiya dəyişənin ( $x$ ) sonlu sayda qiymətlərində verilir, yəni  $f(x_i)$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$ . Lakin təcrübədə funksiyanın qiymətini dəyişənin başqa qiymətlərində də hesablamaya lazım gəlir. Bu halda elə sadə  $P(x)$  funksiyasını qururlar ki,

$$P(x_i) = f(x_i), \quad (i = 0, 1, \dots, n)$$

şərtləri ödənilsin və  $f(x)$ -in təyin oblastının başqa nöqtələrində  $P(x) - f(x)$  kafi qədər kiçik olsun. Belə  $P(x)$  funksiyasının qurulmasına interpolasiya məsələsi deyilir. Adətən  $P(x)$  funksiyasını çoxhədli şəklində axtarırlar. Bəzən elə olur ki, funksiya analitik şəkildə verilir, lakin onun qiymətinin təyin oblastının ixtiyari nöqtəsində tapılması böyük hesablamaların aparılmasını tələb edir. Bu halda da interpolasiya məsələlərindən istifadə edilir. Funksiyanın analitik ifadəsindən istifadə edərək, onun qiyməti hesablaması asan olan bir neçə nöqtədə tapılır və bu qiymətlərdən istifadə etməklə  $P(x)$  çoxhədli qurulur [14].

Əgər təcrübə məlumatları  $[a, b]$  parçası daxilində verilmişsə və onun hər hansı  $L(x)$  funksiyası ilə ifadə olunması tələb olunursa, onda approksimasiya məsələsi interpolasiya məsələsi adlanır [15].

Məqalədə interpolasiyanın Parabolik və Laqranj, IDW (ing. *inverse distance weighting*), həmçinin Ordinar Kriqinq üsulları şərh olunmuşdur.

Parabolik interpolasiya üsulunun mahiyyətinə görə, cədvəl şəklində verilmiş  $y = f(x)$  funksiyasının elə bir  $L(x)$  çoxhədli ilə əvəz olunması tələb olunur ki, bu funksiyanın bölgü nöqtələrindəki qiymətləri  $f(x)$  funksiyasının cədvəl qiymətlərinə bərabər olsun, yəni

$$L(x_0) = f(x_0) = y_0, L(x_1) = f(x_1) = y_1, \dots, L(x_n) = f(x_n) = y_n \quad (8)$$

Bu üsula görə, approksimasiyaedici funksiya  $L_n(x)$  aşağıdakı şəkildə tapılır

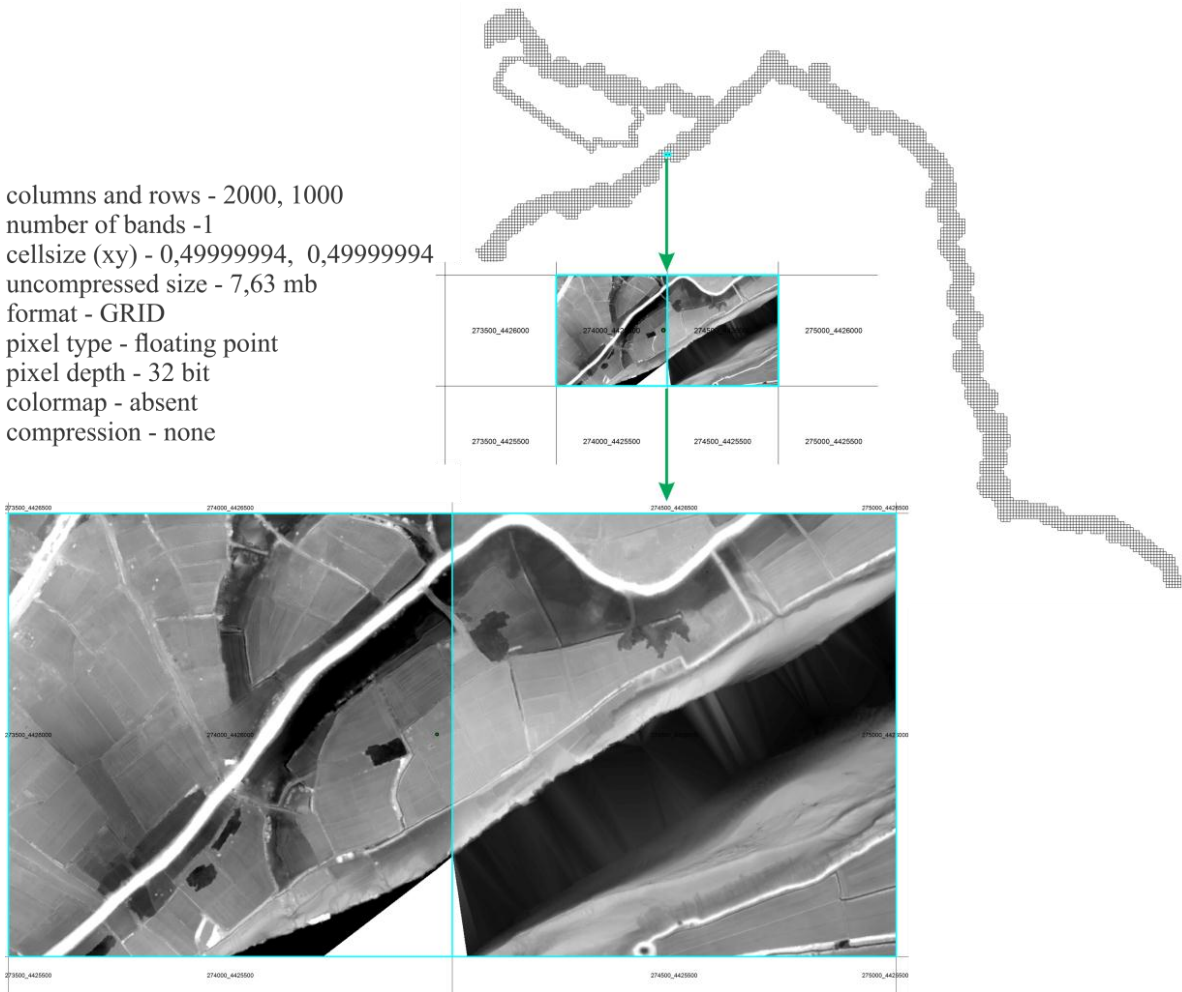
$$L_n(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 \dots + a_nx^n \quad (9)$$





Məsələnin həlli üçün ArcGIS əsasında *Data Management Tools - Raster - Raster dataset - Mosaic To New Raster* prosedurlarına əməl etməklə təsvirlər kombinə olunmuşdur.

columns and rows - 2000, 1000  
 number of bands -1  
 cellsize (xy) - 0,49999994, 0,49999994  
 uncompressed size - 7,63 mb  
 format - GRID  
 pixel type - floating point  
 pixel depth - 32 bit  
 colormap - absent  
 compression - none

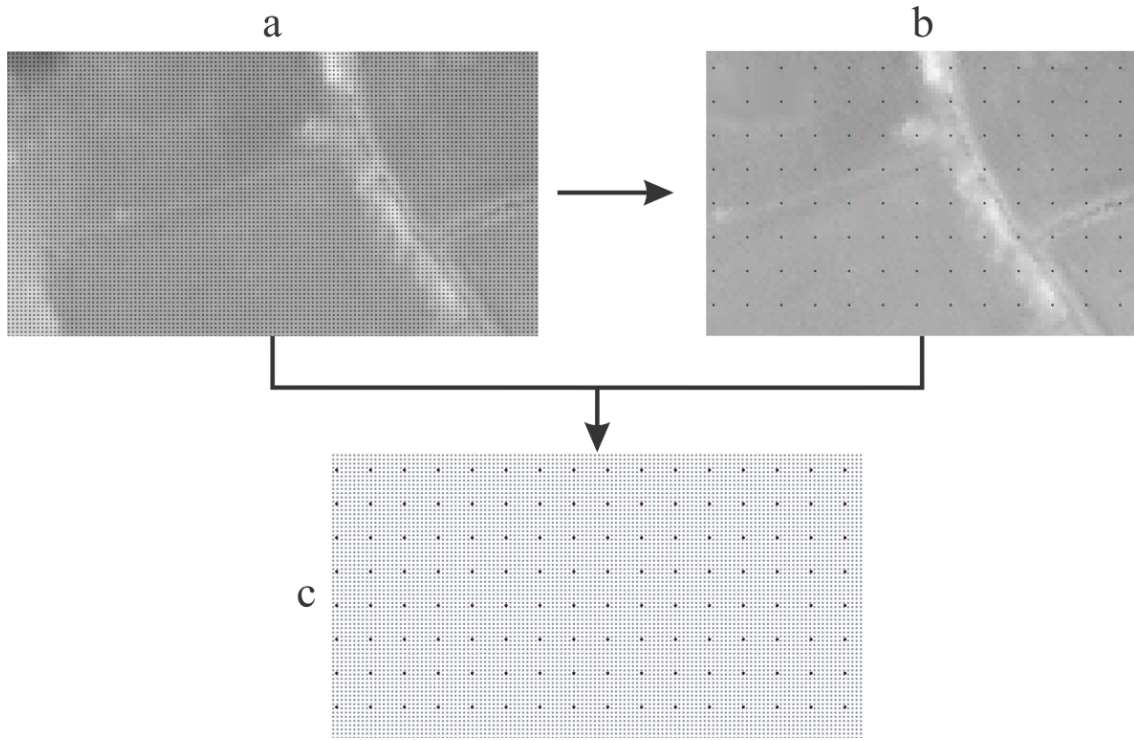


Şəkil 3. Tədqiqat ərazisi üzrə LIDAR verilənlərinin (2010-cu ilin çəkilişi) UTM 39 proyeksiyasında təqdimatı

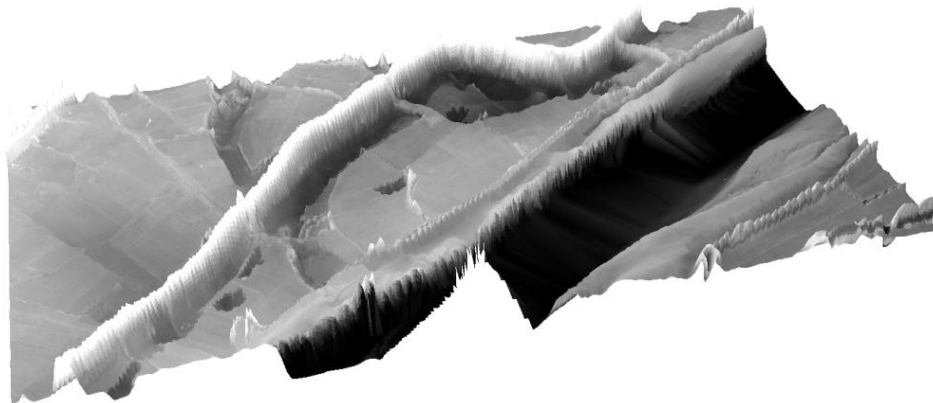
Daha sonra LIDAR verilənləri əsasında subasma ərazisinin nizamsız trianqulyasiya şəbəkəsi qurulmuş, ərazinin sıx nöqtələrdən ibarət yüksəklik nöqtələri alınmışdır. Nöqtələrin çoxluğu onların proqram vasitəsi ilə emal olunmasını xeyli çətinləşdirmiş, məsələnin həlli üçün interpolyasiya aparılmışdır (şəkil 4). Adətən Spatial Analyst əsasında interpolyasiyadan sonra TIN (*triangulated irregular network*) qurulur və ərazinin hündürlük modeli hazırlanır (şəkil 5) [20]. Qeyd edək ki, modelləşdirmə üçün müxtəlif proqram təminatları vardır və onların üstün tərəfi bu işlərdə istifadə edilən qiymətlərin koordinat sistemlərində aparılmasıdır. Modelləşdirmədə qarşıya çıxan əsas problemlərdən biri interpolyasiyanın qeyri-səlis təsvir olunması, yəni TIN modelin qurulması zamanı düyünlərin iti bucaq altında təsvir edilməsidir. Bunu vizualizasiya əsasında da korrekt etmək mümkündür. Səlis əyri xətlərin yaradılmasında daha geniş istifadə olunan üsul Splayn interpolyasiya metodudur.

Məqalədə geoinformasiya modelləşdirilməsi zamanı dəqiqliyin artırılması məqsədi ilə rastırların georeferens metodlarına baxılmış və müxtəlif qoyulmuş şərtlərə görə interpolyasiya üsulları şərh edilmişdir. Məlumdur ki, modelləşdirmənin geoinformasiya analizi üsullarında müxtəlif deterministik və geostatistik interpolyasiya metodları istifadə olunur. Belə üsulların kompleks araşdırılması müxtəlif tematikalı modelləşdirmə məsələlərində mühüm əhəmiyyət kəsb edir [21].





Şəkil 4. Tədqiqat ərazisi təmsalında interpolasiya olunacaq nöqtələrin rastr üzrə vəziyyəti (a - rastr üzrə yüksəklik nöqtələrinin sıx paylanmış vəziyyəti, b - yüksəklik nöqtələrinin seyrək vəziyyətə gətirilməsi, c - sıx və seyrək yerləşən yüksəklik nöqtələrinin ümumi vəziyyəti)



Şəkil 5. Tədqiqat ərazisinin LIDAR verilənləri əsasında yaradılmış 3D modeli

Qeyd etmək lazımdır ki, geoinformasiya sistemlərinin interpolasiyası yuxarıda qeyd olunan üsullara nisbətən fərqlidir. Geoinformasiya sistemlərində interpolasiya olunacaq nöqtələr müvafiq koordinat sistemində yerləşir, hər bir nöqtənin ünvanı məlum olur və konkret sorğular əsasında vahid qiymətə malik nöqtələrdən istənilən xəttin keçirilməsi mümkün olur. Rastr interpolasiyası da bu prinsipə əsaslanır. TIN və yüksək həssaslı modellər də interpolasiya olunarkən bu prinsiptən istifadə olunur. Bu prinsip geostatistik analiz üsullarına da aiddir. Amma burada nöqtənin identifikasiya qiyməti, nöqtələr arasındakı məsafələr və digər faktorlar nəzərə alınır. Onlar da müxtəlif meyarlara görə təsnif olunurlar ki, bu metodlar haqqında yuxarıda qeyd olunmuşdur.

Təcrübələr göstərir ki, geoinformasiya modelləşdirilməsi ətraf mühitin mühafizəsində, fəvqəladə halların idarə olunmasında, daşınmaz əmlakların hüquqi qeydiyyatında, kadastr işlərində, bələdiyyə və kənd təsərrüfatı təyinatlı torpaqların idarə olunmasında, ekoloji məsələlərdə və digər istiqamətlərdə geniş tətbiq olunur. Qeyd olunmalıdır ki, ölkəmizdə bu sahədə, qismən də olsa, zəruri addımlar atılmışdır. Belə ki, [22]-də torpaq-bitki obyektlərinin və avtomobil yollarının xəritələşdirilməsi və [23]-də torpaq örtüyünün obyekt-yönümlü təsnifatlaşdırılması, [24]-də isə təbii komponent xəritələri əsasında yaradılmış komponent əlaqələrinin modelləşdirilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Geoinformasiya sistemləri təbii mənşəli fəvqəladə halların idarə olunmasında və daşınmaz əmlak bazarının aktiv sahələrinin təsnif edilməsində [25–27], Orta Kür çökəkliyi çaylarının bulanıqlığının və Böyük Qafqazın cənub yamacının torpaq-bitki örtüyünün öyrənilməsində [28–29], regionların planlaşdırılması məqsədi ilə rəqəmsal xəritələrin tərtib olunmasında [30] geniş istifadə olunurlar. Geoinformasiya sistemlərinin ölkəmizin kadastr və relyefinin öyrənilməsi sahəsində də tətbiqi əhəmiyyətli olmuşdur. Belə ki, [31]-də AutoCAD və ArcGIS əsasında torpaq kadastrı planlarının rəqəmsal modelləri işlənmiş, [32]-də daşınmaz əmlak üzrə geoinformasiya analizləri aparılmış və [33]-də relyefin morfometrik təhlili üçün modellər qurulmuşdur. Bundan başqa, Şamaxı və İsmayıllı rayonları üzrə eroziya proseslərinin öyrənilməsi məqsədi ilə elektron xəritələr tərtib edilmiş [34] və regionun ekoturizm imkanlarının öyrənilməsi üçün turizm marşrutları modeli yaradılmış [35], landşaft planlarının [36] və müxtəlif tematik xəritələrin tərtibində, həmçinin bioloji müxtəlifliklərin öyrənilməsində [37] yerli mütəxəssislər tərəfindən işlər aparılmışdır.

Qısa müddətdə CİS-in müxtəlif sahələrdə geniş tətbiqi onun obyekt və hadisələrin öyrənilməsi zamanı səmərəli nəticələr verməsindən irəli gəlir. Sevindirici haldır ki, ölkəmizdə də bu sahədə müəyyən nailiyyətlər əldə olunmuşdur.

## Nəticə

Geoinformasiya modelinin informativ olması geoməlumat bazasında olan məkan verilənlərinin geometrik və digər faktorlarından birbaşa asılıdır. Qeyd olunmalıdır ki, kompleks yanaşmalar əsasında dəqiq geoinformasiya modellərinin yaradılmasının bir çox sahələrdə xüsusi əhəmiyyəti vardır. Şəhər və regionların planlaşdırılmasında, idarəetmə sistemlərinin yaradılmasında (kənd təsərrüfatı təyinatlı torpaqların idarəetmə sistemi və s.), fəvqəladə halların və digər proseslərin proqnozlaşdırılmasında geoinformasiya modellərinin tətbiqi aktual məsələlərdəndir. Modelin informativliyi də onun coğrafi əsasından və hansı dəqiqlikdə interpolyasiya olunmasından xeyli asılıdır. Bu əməliyyatların dəqiq aparılmasını təmin etmək üçün müxtəlif metodlar mövcuddur ki, bu üsulların da tətbiqi baxımdan qarşıya qoyulan konkret şərtlərə görə öyrənilməsi vacibdir. Məhz bu səbəbdən, məqalədə həmin modellərin yaradılması ilə bağlı transformasiya üsullarının və interpolyasiya metodlarının tətbiqi məsələləri öz əksini tapmışdır.

Beləliklə, məqalədə təsvirlərin georeferens məsələlərinə baxılmış, Affin və üst Polinom üsullar şərh olunmuş, multispektral çəkilişə aid təsvirlər Polinom-2 metoduna əsasən georeferens olunmuş, ArcGIS proqramı vasitəsi ilə orta kvadratik xətalara qiymətləndirilməsi metodlarına baxılmışdır. Bundan başqa, məqalədə polinomal modellərin daha üst dərəcələrinin hesablanması üsullarına da geniş yer ayrılmışdır. Rastr üzrə nöqtənin orta kvadratik xətasının hesablanması metodları da şərh olunmuşdur.

Məqalədə interpolyasiya metodlarına, həmçinin çoxfragmentli təsvirlərin kombinə olunmasına və TIN modellərin qurulması məsələlərinə də baxılmışdır.

## Ədəbiyyat

1. [www.graphtec.ru/application/cartography/](http://www.graphtec.ru/application/cartography/)
2. [skanworld.ru/razreshenie-skanera-kakoe-znachenie-optimalnoe.html](http://skanworld.ru/razreshenie-skanera-kakoe-znachenie-optimalnoe.html)
3. Токарева О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли, Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010, 148 с.

4. Методические указания к выполнению курсовой работы по фотограмметрии и дистанционному зондированию. Сост. Лисицин В.Э. Харьков: ХНАГХ, 2006, 90 с.
5. [gis-lab.info/qa/polynom.html](http://gis-lab.info/qa/polynom.html)
6. [www.ukrprint.com/prepress/theory/img\\_compress.php](http://www.ukrprint.com/prepress/theory/img_compress.php)
7. Alıyev E.M. MZ verilənlərinin müxtəlif genişlənmələrdə saxlanması, emal edilməsi və kompressiyası məsələləri / “Azərbaycanda geodeziya və kartoqrafiyanın inkişaf perspektivləri” III elmi-praktik konfransın materialları, Bakı: Ulu, 2011, s.191–199.
8. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. и др. Основы геоинформатики: В 2 книгах. Книга 1: М.: Издательский центр «Академия», 2004, 352 с.
9. [www.scanex.ru/ru/publications/pdf/publication21.pdf](http://www.scanex.ru/ru/publications/pdf/publication21.pdf)
10. Лабутина И.А., Балдина Е.А. Использование ДДЗ для мониторинга экосистем ООПТ. Методическое пособие, М.: WWF России, 2011, 88 с.
11. Maria A. Brovelli, Marco Minghini. Georeferencing old maps: a polynomial-based approach for Como historical cadasters // e-Perimtron, 2012, vol.7, no.3, pp.97–110.
12. [www.gis.usu.edu/~doug/rs5750/lectures/L7\\_Geometriccorr.pdf](http://www.gis.usu.edu/~doug/rs5750/lectures/L7_Geometriccorr.pdf)
13. Hüseynov Z.Q. Hesablama üsulları və praktikumu. Ali məktəblər üçün dərs vəsaiti, Bakı, “Adiloğlu” nəşriyyatı, 2003, 456 s.
14. Məmmədov Y.C. Təqribi hesablama üsulları, “Bakı Universiteti” nəşriyyatı, 2008, 288 s.
15. Qəhrəmanov N.F., Məmmədov N.S., Balayev V.A. İdarəetmədə ədədi hesablama üsullarının tətbiqi, S: «Sumqayıt», 2007, 160 s.
16. [math.volchenko.com/Lectures/Interpol.pdf](http://math.volchenko.com/Lectures/Interpol.pdf)
17. Ханова А.А. Интерполяция функций. Методическое пособие для студентов института информационных технологий и коммуникаций, Астрахань, 2001, 22 с.
18. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика: теория и практика, М.: Наука, 2010, 327 с.
19. Геостатистический анализ. Руководство пользователя, <<ESRI Ltd>>, 2001, 278 с.
20. Alıyev E.M., Abbasov S.A., Sultanov E.T. Su ehtiyatlarının idarə edilməsi məqsədi ilə coğrafi məlumat bazasının yaradılması // İnformasiya texnologiyaları problemləri, 2012, №1, s.79–88.
21. Alıyev E.M. Yüksək ayırdətəməli aerokosmik məlumatlar əsasında daşınmaz əmlakın geoinformasiya analizi // İnformasiya texnologiyaları problemləri, 2015, №2, s.76–87.
22. Süleymanov T.İ., Alıyev E.M. Böyük Qafqazın cənub-şərq rayonlarının nəqliyyat yolları xəritəsinin hazırlanmasında coğrafi informasiya sistemləri texnologiyasından istifadə // Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, Bakı, 2009, №1(12), s.11–15.
23. Ələskərov E.R. LIDAR verilənləri istifadə edilməklə torpaq örtüyünün obyekt-yönlü təsnifatlaşdırılması // Journal of Qafqaz University, Mathematics and Computer Science, Baku, 2013, №2 (1), pp.189–198.
24. [static.bsu.az/w13/pages/2008-ci%20ilin%20hesabat%C4%B1.pdf](http://static.bsu.az/w13/pages/2008-ci%20ilin%20hesabat%C4%B1.pdf)
25. Alıyev E.M., Ələskərov E.R. LIDAR verilənlərinin və coğrafi informasiya texnologiyalarının təbii mənşəli fəvqəladə hallarda tətbiqi məsələləri // İnformasiya texnologiyaları problemləri, 2014, №2, s.75–85.
26. Alıyev E.M. Coğrafi informasiya texnologiyaları və məsafədən zondlama verilənləri əsasında daşınmaz əmlak bazarında dinamikanın öyrənilməsi məsələləri // İnformasiya texnologiyaları problemləri, 2012, №1, s. 61–69.
27. Aghayev A.T., Rustamov R.B. Remote Sensing and GIS/Geodatabase in river flood mapping // Journal of Surveying and Mapping Engineering, 2015, vol.3 no.1, pp.1–11.
28. Rəcəbov R.F. Orta Kür çökəkliyi çaylarının bulanıqlıq xəritəsinin tərtibi və təhlili // Bakı Universitetinin Xəbərləri (təbiət elmləri seriyası), 2013, №2, s.209–216.
29. Mütəllibova Ş.F., Şabanov C.Ə. Böyük Qafqazın cənub yamacının torpaq-bitki örtüyünün aerokosmik üsullarla qiymətləndirilməsi və xəritələşdirilməsi // Bakı Universitetinin Xəbərləri (təbiət elmləri seriyası), 2013, №3, s.166–173.

30. Байрамов И.У. ГИС в проектах регионального планирования на территории Азербайджанской Республики // ARCREVIEW, Москва, 2013, №2 (65), стр.10–12.
31. [dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=1794&SECTION\\_ID=48](http://dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=1794&SECTION_ID=48)
32. Алыев Э.М. Создание электронной базы данных для управления пространственными объектами на основе ортофотоснимков и геоинформационных систем // ARCREVIEW (ГИС в СНГ), Москва, 2013, №2 (65), стр.13–14.
33. Мехбалиев М.М. Морфометрическое исследование рельефа Загатальского заповедника с применением ГИС в целях развития туризма // ARCREVIEW, Москва, 2010, №1 (52), стр.14–15.
34. [www.scribd.com/doc/272711909/Ismat-Baxishov](http://www.scribd.com/doc/272711909/Ismat-Baxishov)
35. Sədullayev R.R., Aliyev E.M. Məsafədən zondlama verilənlərindən və geoinformasiya texnologiyalarından istifadə etməklə ekoturizm imkanlarının öyrənilməsi məsələləri // Azərbaycan Coğrafiya Cəmiyyətinin Əsərləri, 2011, XVII cild, s.443–450.
36. Məmmədov R.M. Azərbaycanada Landşaft Planlaşdırılması, Bakı, 2009, 142 s.
37. [lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOid=3558941&fileOid=3558942](http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOid=3558941&fileOid=3558942)

#### UOT 004.04

**Алыев Эльвин М.**

Институт Космических Исследований Природных Ресурсов, НАКА, Баку, Азербайджан  
[elvin.aliyev.m@gmail.com](mailto:elvin.aliyev.m@gmail.com)

#### **Задачи трансформации и интерполяции в геоинформационном моделировании**

Одной из основных проблем, встречающихся в создании геоинформационной модели, являются вопросы геореференции и интерполяции данных. В статье в этом направлении рассмотрены вопросы трансформации растровой карты различного масштаба, в рамках геореференции прокомментированы существующие методы, отражены некоторые детерминистские и геостатистические методы интерполяции. Кроме того, с целью геоинформационного моделирования проведены анализы данных LIDAR и GeoEye-1.

**Ключевые слова:** *многочлен Лагранжа, интерполяция, LIDAR, GeoEye-1, Аффин, Полином, ArcGIS, трансформация, геореференс, IDW.*

**Elvin M. Aliyev**

NASA Institute for Space Research of Natural Resources, Baku, Azerbaijan  
[elvin.aliyev.m@gmail.com](mailto:elvin.aliyev.m@gmail.com)

#### **Transformation and interpolation issues in geo-information modeling**

Data geo-reference and interpolation issues are the main problems faced when creating geo-information model. The article reviews the transformation of the raster maps of different scales, and explains existing methods within geo-reference operations. Numerous deterministic and geo-statistic interpolation methods are presented. Moreover, LIDAR and GeoEye-1 data analysis is conducted for geo-information modeling.

**Keywords:** *Lagrange polynomials, interpolation, LIDAR, GeoEye-1, Affine, Polynomial, ArcGIS, transformation, geo-reference, IDW.*