

UOT: 551.24.08.55(4)

TƏKALTI DEFORMASIYA ZONASINDA  
STRESS REJİMLƏRİN TƏDQIQI

A.E.YOUSEFİ-BAVİL

*Geologiya İnstitutu, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası*  
*ayousefi@gia.ab.az*

*Stress inversiya üsulundan istifadə edərək Təkalıtı deformasiya zonasında stress halları tədqiq olundu. İki tektonik epizod təyin edildi: 1- oliqosen-miosen tektonik fəaliyyətlərinə aid kompressional stress rejim; 2- pliosen-dördüncü dövrə aid kompressional stress rejim. Ümumiyyətlə, Təkalıtı deformasiya zonasında kompressional stress rejimi fay və sürüşmə yerdəyişmələri vasitəsilə kompressional-ekstensional deformasiyalara səbəb olmuşlar.*

**Açar sözlər:** paleostress, stress inversiyası, deformasiya rejimi.

Keçmiş otuz ildə stress analizlərinin inkişafı yer qabığında baş verən deformasiyaların kinematik və dinamik parametrlərinin daha yaxşı anlaşılmasına kömək göstərmişdir [17]. Yer qabığının üst səviyyələrində kövrək deformasiyalar hakimlik edir və yarıq əmələgəlmə vasitəsilə baş verir [22]. Sürüşmə istiqaməti ilə maksimum qayçılanma stressinin paralelliyi fərziyyəsi [6, 24], həmçinin yarıq müstəvisi üzərində sürüşmə istiqamətinin təyin edilməsində bəzi kinematik indikatorlardan istifadə edə bilmək [7] əsasında müxtəlif tektonik quruluşlarda çoxlu stress tədqiqatları aparılmışdı. Müvafiq olaraq, yarıq-sürüşmə məlumatı (yəni yarıqların və sürüşmə şırımlarının oriyentasiyaları barədə məlumatlar) istifadə edilərək paleostress hallarının təyin edilməsi üzrə fərqli metodlar təklif edilmişdir [3, 14, 15, 18, 25].

Stress inversiyanın nəticələri isə bir endirilmiş stress tensorla məhdudlaşdırılmışdır [4]. Bu tensor dörd dəyişkəndən ibarətdir: ana stress oxların oriyentasiyası ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  və  $\sigma_3$ ), həmçinin ana stress ox miqdarları arasında olan stress nisbəti ( $\Phi$ ). Müxtəlif normallaşdırılmış stress hallarının müqayisəsini stress fərqliliyi (D), ortalama tensor ( $\sigma_M$ ), həmçinin stress nəticələrinin dispersiyası ( $\tau_{octM}$ ) ilə aparmaq mümkündür [16, 20].

Şimali Təbriz yarığı ətrafında (o cümlədən Təkalıtı deformasiya zonası) fokal-mexanizm həllərinin azlığı və geoloji həllərinin (yarıq-sürüşmə məlumatlarının inversiyaları) qeyri-kafiliyi səbəbindən lokal stress halları haqqında məlumat azdır. Bu azlıq, adı çəkilən yarığın kinematik tədqiqi qarşısında mane yaradır. Göstərilən səbəblərə görə, bu məqalədə lokal stress halları Təkalıtı

zonasında tədqiq edildi. Müvafiq olaraq, toplanmış yarıq-sürüşmə məlumatları üzərində stress inversiya metodikası tətbiq olundu. Son olaraq, inversiya nəticələri ilə yanaşı stratiqrafiya, yarıq geometriyası və struktur məlumatlar istifadə edilərək: 1- stress hallarının müvəqqəti və məkan dəyişməsi; 2- müxtəlif tektonik rejimlər müəyyən edildi.

### **Regional tektonika**

Şimali Təbriz yarığı İran plitəsinin Alborz-Azərbaycan çöküntü-struktur alt-domenində yerləşir [8, 1]. J.Golonka [10] bu alt-domenin şimal-qərb hissəsini (Azərbaycan Platosunu) ayrıca blok nəzərə alaraq Lahican (cənub-şərqdə) və Araz (şimal-qərbdə) yarıqları ilə, sıra ilə, Alborz və Kiçik Qafqaz zonalarından ayırır. A.İftixarnijad [8] Şimali Təbriz yarığını qədim yarıq kimi qəbul edərək göstərmişdir ki, erkən devonda yarıq Azərbaycan regionunu iki bloka ayırırdı. Erkən devon müddətində şimal-şərq blokunun çökməsi və cənub-qərb blokunda üst təbəşirə qədər qalxma proseslərin davamlılığı, Şimali Təbriz yarığı boyunca aydın fassiya bölücüsü formalaşdırmışdır. M.Ələvi [2] Şimali Təbriz yarığını Azərbaycan platosu ilə Urmıyyə-Doxtər maqmatik qövsünün arasında olan tikiş (kolliziya) zonasının yeri olaraq nəzərə aldı. Bu zona üzrə, Təkaltı dağının şimal-qərbində abissal düzənlik çöküntüləri (yəni pelagik əhəngdaşı, silisiumlu çöküntü süxurlar və meta-vulkanik lava) kiçik miqyasda yer üzünə çıxmışlar. A.Ağanəbati [1], ümumi olaraq, İran platosunun yarıqlarını şimal-qərb-cənub-şərq istiqamətli dekstral (sağ yönlü sürüşmə yerdəyişməsi) və şimal-şərq-cənub-qərb istiqamətli sinistral (sol yönlü sürüşmə yerdəyişməsi) yarıqlar olaraq xüsusiyyətləndirərək onları, sıra ilə, Katanqa və Kaledon tektonik fazaları ilə əlaqələndirdi.

Cənubi Qafqaz, Azərbaycan, Alborz, Sənəndəc-Sircan, Lut bloklarının və Ərəbistan plitəsinin Qondvananın şimal-şərq haşiyəsindən ayrılması və dreyfi və onların Avrasiya plitəsi ilə (təxmini olaraq) şimal istiqamətində toqquşması nəticəsində bu yöndə müxtəlif zamanlarda sıxılmalar baş vermişdir [10]. Pliosəndən bəri, Azərbaycan Platosu və onun ətrafında olan region üç tektonik proses ilə təsirlənir: 1- Ərəbistan plitəsinin Afrikadan ayrılması, Avrasiya plitəsinə nisbətən onun saat istiqamətində fırlanması və onların konvergen-siyası, təxminən şimal istiqamətində güc tətbiqinə səbəb olmuş [23]; 2- Dekstral Şimali Anadolu və sinistral Şərqi Anadolu transform yarıqları üzərində olan hərəkətlər və Anadolu Platosunun qərb-cənub-qərb səmtli qaçışı nəticəsində, qərb istiqamətində bir nisbi rahatlıq vardır; 3- Hind və Lut plitələri ilə Avrasiya plitəsinin toqquşması və şimal-qərb-cənub-şərq istiqamətli transform yarıqların inkişafı cənub və şərqdə məhdudlaşdırıcı hüddud yaradır [10]. Şərqi Anadolu platosu və Kiçik Qafqaz üçün A. Koçyigit və başqaların [12] təklif etdikləri kompressional-ekstensional neotektonik rejimi Azərbaycan platosuna qədər genişləndirmək olar. Müvafiq olaraq, Azərbaycan platosunda transkurrent deformasiya yayğındır və P.Vernant və b. [24] görə deformasiya əsasən Şimali Təbriz yarığı üzərində yerləşir.

Geoxronologiya		Stratiqrafiya	Uyğunsuzluq və tektonik faza	
MEZOZOY	TƏBAŞIR	ÜÇÜNCÜ DÖVR MİOSEN OLİQOSEN EOSEN	Q al Q t2 Q tr Q tl Q ta    Q an	
			Pl2 t    Pl2 ash Pl2 d	
			Pl vc2c Pl vc2la Pl vc1c    Pl vc1p Pl vc	Pasaden (Vulkanik fəaliyyətlər və qırışiq əmələ gəlmə)
			M2 ss M2 ml gy    M2 sm M2 c M c    M2 cs M lm	
			M l    M sm gy	
			M tr	
			OM p    M ac OM m OM cs	Pireney (Bucaq uyğunsuzluğu, qırışiq əmələgəlmə, dördüncü dövrə qədər uzanan plutonik və vulkanik fəaliyyətlər)
			E it E pa E t E v E tv	
			K2 Ish K2 c K2 l	Larami (Qırışiq əmələgəlmə, ekstensial rejim və vulkanik fəaliyyətlər)

Şək. 1. Təkalı deformasiya zonasının ətraf ərazisinə aid tektonostratiqrafik sütun.

### Stratiqrafiya və tektonik fazalar

Ümumi regional tektonik məlumatları, həmçinin bu ərazidə aparılmış geoloji ekspedisiyalara əsasən [5, 9] ətraf ərazinin tektonostratiqrafiyasını (şəkil 1) aşağıdakı kimi xülasə etmək olar.

**Mezozoy.** Ətraf ərazidə bu dövrə aid litoloji vahidlərin yer üzünə çıxması sadəcə Təkalı və Kündül dağları ilə məhdudlaşır. Mergelli əhəngdaşı, əhəngli şist, əhəngdaşı və qumlu əhəngdaşı, həmçinin konqlomerat və qumdaşları əsas

litoloji kompleksləri təşkil edir. Bu litoloji komplekslərin (flişə bənzər çöküntü süxurların) üstə qalxması və onlarda əmələ gəlmiş qırışıqlar Larami tektonik fazasına aid edilir. Bu fazanın fəaliyyəti nəticəsində ərazidə gərilmə rejimi əmələ gəlmiş və maqmatik fəaliyyətlərə səbəb olmuşdur. Vulkanik süxurların geokimyəvi analizləri, onların qələvi xüsusiyyətli olduqlarını göstərir. Bu əsasda, ilkin maqmanın dərin mantiyadan mənşə aldığını və gərilmə fazalarında yarıqlar vasitəsilə yer üzünə çıxdığını göstərmək olar.

**Kaynozoy.** Oliyosendə baş vermiş plutonik və subvulkanik fəaliyyətlər və bazal konqlomeratlarının, həmçinin miosen çöküntülərinin əmələgəlməsi və bucaq uyğunsuzluğu ilə daha yaşlı (təbaşir) litoloji komplekslərin üzərində yerləşməsi Pireney tektonik fazasına aid edilir. Miosen-pliosen yaşlı tektonik hərəkətlər (Sav, Ştir və Pasaden) nəticəsində yaşlı süxurlarda qırışıqlar əmələ gəlmiş, həmçinin vulkanizm baş vermişdir. A.Behrouzi və b. [5] məlumatlarına görə, bu ərazidə dasit lavalarda yaşı 140–400 min il təyin edilmiş və vulkanik fəaliyyətlərin dördüncü dövrə qədər davam etdikləri ifadə edilmişdir. Səhənd dağının yamaclarında olan piroklastik və kontinental materialların xüsusiyyətləri, müxtəlif növdə olan və duzlu mühitə aid diatomeaların varlığı, həmçinin sineritli və diatomitli qatların içində olan fəqərəli canlıların fosillərinin tapılması əsasında, Səhəndin vulkanik fəaliyyətləri quruluq vulkanik fəaliyyətlərinin növündən olduğu və onun ətrafında sığ duzlu gölün varlığı göstərilmişdir.

### **Material və metodolgiya**

Təkalı deformasiya zonasında müxtəlif saytlardan 93 yarıq-sürüşmə məlumatı toplandı. Saytların seçilməsində Şimali Təbriz yarığının təsiri meyar götürüldü (şəkil 2). Çöl müşahidələri ilə yanaşı, araşdırma regionunun geoloji xəritələri, yarıqların nisbi hərəkətlərinin təyini üçün istifadə edildi. Bu iş üçün yarıqların kəsişmə və yarıq müstəvisi üzərində olan sürüşmə şırımlarının superpoz (yəni bir-birinin üzərində yerləşməsi) əlaqələrindən istifadə olundu. A.Nieto-Samaniego və S.Alaniz-Alvarezin [19] qeydlərini nəzərə alaraq, nümunə götürmə təxminən 40 m intervalla aparıldı. Əhəmiyyətli stress halların təyin edilməsi üçün Yamacinin “Multiple Inversion Method” (MIM) proqramından (ana prosessor 6-cı versiya) istifadə edildi [25]. C.Liza və R.Laylin [13] qeydlərini nəzərə alaraq inversiyanın rezolyusiyasını çoxaltmaq üçün 5 artırma əmsalından istifadə edildi. Tanınan stress tensorların fərqliliklərini “STRESSAT” proqramı ilə təyin edildilər [16].

Tanınan hər stress tensorun normallaşdırılmış normal və qayçılanma komponentləri bir əlavə meyar olaraq istifadə edildi. O, tanınan stress tensor qarşısında, kritik meyar bucağından az uyğunsuzluq bucağına malik olan yarıqların qeyri-sabitliyinin kontrol edilməsi üçün istifadə edildi. Bu istiqamətdə,  $60^\circ$  və  $140^\circ$  bucaqları meyar teta bucaqları (maksimum kompressiv stress ox və yarıq müstəvisinə perpendikulyar olan xəttin arasında olan bucaq) seçildilər. Ana stress oxlarının birinə paralel və ya subparalel olan yarıqları müstəsna etmək

üçün, həmçinin yüksək qayçılanma və az kompressiv normal stressləri olan yarıq istiqamətlərinin məhdudlaşdırılması üçün teta miqdarlarından istifadə edildi [11, 21]. Bunu etmək üçün bir diaqram hazırlandı. Bu diaqram hər iki meyarın (yəni uyğunsuzluq bucağı və normallaşdırılmış normal və qayçılanma stress komponentlərinin miqdarları (NNQSKM)), həmçinin stress halların başqa parametrlərinin korrelyasiyasına şərait yaradır. Bu diaqram bir polar diaqram olaraq intervalı  $10^\circ$  olan və  $0^\circ$  ilə  $90^\circ$  arasında məhdudlaşan on bir şüadan formalaşır (misal üçün bax şəkil 3b). Hər şüa,  $\Phi$ -in bir intervalına ( $0.1$ ) ayrılmışdır (nominal  $\Phi$  ( $\Phi_n$ )). On bir şüanın hər biri əlaqədar  $\Phi_n$  üçün tanınmış stress tensora qarşı yarıqların uyğunsuzluq bucağını göstərir.

### Nəticələr

Təkaltı dağında əmələ gəlmiş deformasiya zonası cənub-qərb tərəfdən Şimali Təbriz yarığı, şimal-şərq tərəfdən isə Atbatan yarığı ilə məhdudlaşır (bax şəkil 2). Zonanın cənubu Y1 yarığı ilə məhdudlaşır, mərkəzinin şimal-qərb hissəsində isə, Y2 yarığı ŞŞQ-CCŞ istiqamətində Şimali Təbriz yarığı ilə kəsilir.

Bu zonanın şimal-qərb tərəfində gec təbaşirə aid spilit (xloritləşmiş qələvi və orta tərkibli vulkanik) süxurları yer üzünə çıxmışdır. Təbaşir dövrünə aid flişə bənzər süxurlarda geniş şəkildə qırışıq və yarıqlar mövcuddur. Onlar, az müqavimətli litoloji komplekslərdən formalaşdıqları üçün tərcihli (gözə çarpan) qırışıq istiqaməti göstərmirlər. Təkaltının şərq tərəfində (Atbatan yarığının qərb qanadında) ümumi istiqaməti şimal-cənub olan kiçik miqyaslı sinklinal təbaşir litoloji komplekslərində əmələ gəlmişdir. Burada (Arştınabın şimalında) miosen çöküntüləri bucaq uyğunsuzluğu ilə təbaşirin üzərində yerləşmişlər. Zonanın şimal-qərb tərəfində (Şimali Təbriz yarığının şimal-şərq qanadında) miosen süxurlarında şimal-qərb-cənub-şərq istiqamətli antiklinal mövcuddur. Bu zonanın xaricində, qonşu ərazidə miosen–pliosen–dördüncü dövr çöküntülərində qırışıq ox istiqamətləri şimali-cənubi və şimal-qərb-cənub-şərq yönlərində istiqamətlənmiş qırışıqlar izlənilir. Zonanın qərbində, kiçik miqyasda oliqosen-miosen yaşlı konqlomerat və qumdaşları təbaşir süxurları üzərində bucaq uyğunsuzluğu ilə yerləşmişdir (quruluq çöküntü toplanma şəraitində). Zonanın mərkəzi qərb hissəsində oliqosen dövrünə aid aplit və riolit (plutonik-subvulkanik) kompleksi günbəz şəklində formalaşmışdır.

Çöl müşahidələri, həmçinin xəritələr və kosmik fotosəkillərin üzərində aparılan yarıqların kəsişmə əlaqələrinin analizi, tərcihli müəyyən yarıq istiqamətini göstərmir. Belə ki, şimal-qərb-cənub-şərq və həmçinin şimal-şərq-cənub-qərb istiqamətli yarıqlar bir-birlərini kəsirlər.

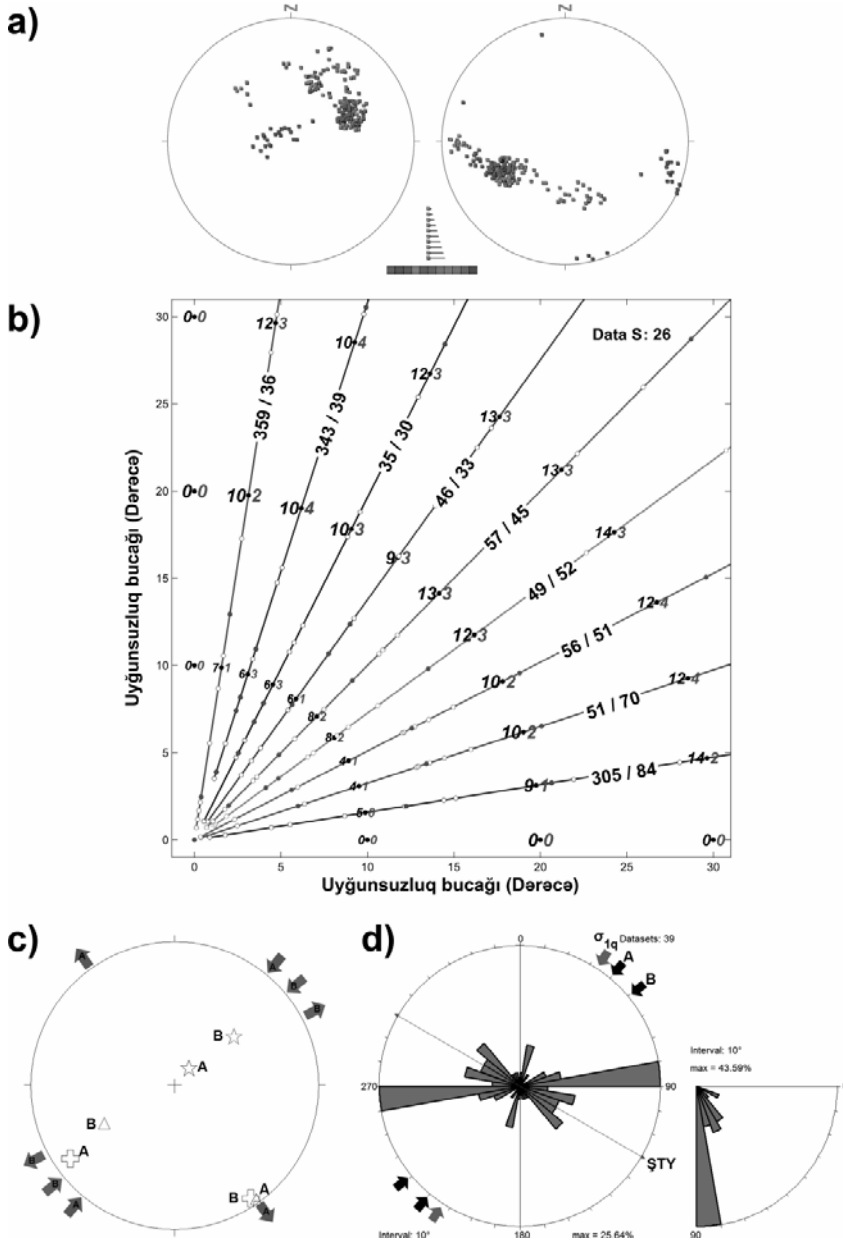
Bu deformasiya zonasında 39 yarıq-sürüşmə məlumatı toplandı. Toplanan yarıq məlumatlarında iki yarıq müstəvisi üzərində sürüşmə şırımların superpozisiyası müşahidə oldu. Bir yarıq üzərində üç fərqli sürüşmə şırımı, başqasında isə iki sürüşmə şırımı formalaşmışdır. Birinci yarıqda, sinistral və fay komponentlərinə malik sürüşmə yerdəyişməsi üzərinə fay və dekstral komponent-

lərinə malik sürüşmə yerdəyişməsi superpoz olmuşdur. Son hərəkətin üzərinə isə sinistral və əks fay komponentlərinə malik sürüşmə yerdəyişməsi superpoz olmuşdur. İkinci yarıq üzərində isə, fay və dekstral komponentli hərəkətin üzərinə fay və sinistral komponentli hərəkət superpoz olmuşdur. Beləliklə, fay və dekstral komponentləri üzərinə sıra ilə sinistral və əks fay, fay və sinistral komponentləri superpoz olmuşdur.

Birinci stress inversiya cəhdində, stress tensorlar, müəyyən yoğunluğa malik olan üç klaster (yığım) formalaşdırdılar. İnversiya nəticəsində tanınan stress halları 2–10  $\Phi_n$  diapazonunda müxtəlif tensorlardan ibarətdirlər. Dörd “bənzər” stress halı (2–5, 5–7, 4–6 və 7–10  $\Phi_n$ -ə mənsub olan tensorlar) və üç “fərqli” stress halı (2–3, 4–6 və 7–10  $\Phi_n$ -ə mənsub olan stress tensorlar) təyin edildi. Bu halların maksimum stress ox oriyentasiyaları sıra ilə  $\text{ŞŞ}053^\circ/77^\circ$ ,  $\text{ŞŞ}016^\circ/38^\circ$  və  $\text{ŞŞ}021^\circ/27^\circ$  formasındadır (cədvəl 1). Tanınmış stress tensorlara qarşı, 12 yarıq-sürüşmə məlumatı 30 dərəcədən çox uyğunsuzluq bucağına malikdirlər. Uyğun olmayan məlumatların üzərində stress inversiyanın tətbiqi nəticəsində 6 məlumat 30 dərəcədən çox uyğunsuzluq bucağına malikdilər. Onlar süni məlumat kimi qiymətləndirilərək məlumatlardan çıxarıldılar. Qalan məlumat isə ilkin məlumata qaytarılaraq üzərilərində stress inversiya tətbiq olundu. İkinci cəhdə (33 yarıq-sürüşmə məlumatı ilə) yenə 7 məlumat 30 dərəcədən çox uyğunsuzluq bucağına malikdilər. Bu məlumat öncəki 6 məlumata əlavə edilərək üzərində ayrıca inversiya tətbiq olundu. İki stress tensor əldə edildi. Tanınan tensorlar, D parametrinə əsasən “fərqli” tensorlardır. Onların hər birinə qarşı 6 yarıqda 20 dərəcədən az uyğunsuzluq bucağı yaranır. Bu kompressional və ekstensional tensorlar NNQSKM meyarına əsasən sıra ilə 3 və 1 yarıqda qeyri-sabitliyə səbəb olurlar.

Üçüncü cəhdə, 26 yarıq-sürüşmə məlumatı üzərində inversiya tətbiq olundu (bax şəkil 3a). Tanınan tensorlar, D parametrinə əsasən üç “fərqli” stress halı formalaşdırırlar (2–3, 4–8 və 9–10  $\Phi_n$ -ə mənsub olan stress tenosrlar) (cədvəl 2). Onlardan ikisi daha yoğun klasterə malikdirlər. Tanınan tensorlara qarşı bir yarıq 30°-dən, qalan yarıqlar isə 20°-dən az uyğunsuzluq bucağına malikdirlər. Bu tensorlar arasında,  $\Phi_n$ -si 5 və 6 olan tensorlar ən çox yarıqda (yarıqların təxminən yarısı) 20 dərəcədən az uyğunsuzluq bucağı göstərirlər (bax şəkil 3b). Uyğunsuzluq bucağına baxmayaraq, NNQSKM meyarına əsasən tanınan stress tensorlar, az sayda yarıqların qeyri-sabitliyinə səbəb olurlar.





**Şək. 3.** Təkaltı deformasiya zonasında 3-cü stress inversiyanın nəticələri. a: Yamacının “Multiple Inversion” metodu ilə tanınan stress tensorlar. b: Üç kritik uyğunsuzluq bucaqlarına aid sol və sağdakı rəqəmlər, sıra ilə 1-ci və 2-ci meyarlarına uyğun olan yarıqların sayını göstərir. İçi boş dairələr uyğunsuzluq bucağı meyarına uyğun olan yarıqları, qırmızı içi dolu dairələr isə uyğunsuzluq və NNQSKM meyarlarına uyğun olan yarıqları göstərilir. c: Ulduz, Plyus və üçbucaq simvolları təyin edilən stress hallarının, sıra ilə  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  və  $\sigma_3$  oriyentasiyalarını göstərir. d: müəyyən edilən stress halların və nümunə alınan yarıqların korrelyasiyası.

**Təkalıtı deformasiya zonasında 1-ci stress inversiyanın nəticələri: D parametri STRESSTAT proqramı ilə təyin edilən tensor fərqliliyini göstərir. D miqdarının maksimumu (Mak. D) təyin edilən stress hallara daxil olan tanınmış stress halların maksimum fərqliliyini göstərir. D<sub>MIM</sub> və Θ parametrləri, Yamacın MIM proqramı ilə təyin edilən, sıra ilə, orta stress fərqliliyi və orta bucaq stress fərqliliyini göstəriirlər.**

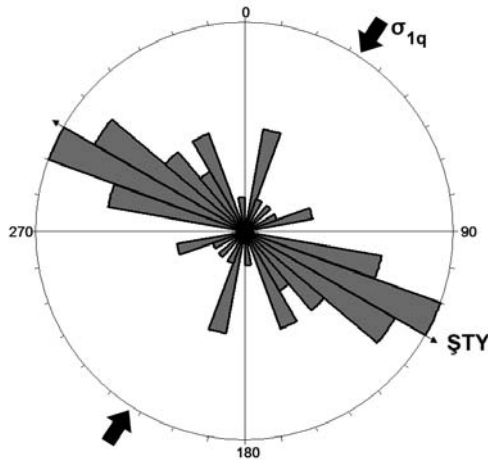
$\sigma_1$	$\sigma_3$	$\varphi$	Mak.D	$\sigma_1$	$\sigma_3$	$\varphi$	D <sub>MIM</sub>	Θ	Stress halı
346,7 / 85,4	109,6 / 02,5	0,07	0,5401	52,6 / 77,0	166,7 / 5,4	0,11	0,489	28,8	a
060,2 / 71,4	172,9 / 07,4	0,14	0,5401						
013,3 / 30,0	245,1 / 46,9	0,31	0,708	16,3 / 38,3	256,4 / 32,3	0,32	0,806	47,909	b
036,2 / 53,5	256,2 / 29,6	0,34	0,708						
010,7 / 35,0	262,6 / 23,9	0,26	0,708						
022,6 / 28,8	201,6 / 61,2	0,57	0,8548	21,0 / 26,7	192,9 / 63,1	0,61	0,676	39,969	c
020,5 / 23,6	202,8 / 66,4	0,61	0,8548						
001,1 / 32,3	161,2 / 56,0	0,87	0,8548						
001,0 / 37,0	145,8 / 47,4	0,90	0,8548						

Stress hallarının müvəqqəti əlaqələri aşağıdakı kimi izah edilir. Nümunə alınmış yarıqlar, təbaşir süxurlarında, oliqosen yaşlı plutonik və subvulkanik, həmçinin miosen yaşlı qranodiorit süxurları üzərində əmələ gəlmişlər. İki əsas stress halı arasında, birinci stress hal (A), az qala, bir aksiyal kompressional stress haldır və fayların əmələ gəlməsi üçün əlverişlidir. Fayların əksəriyyəti, təbaşir komplekslərində müşahidə olunur. Oliqosen yaşlı aplit və riolit komplekslərinin intruziyası, həmçinin təbaşir süxurlarında nümunə alınmış yarıqlar ilə intruziv komplekslərin mövqe əlaqələrini və A stress halının maksimum ana stress oxunun oriyentasiyasını nəzərə alaraq, bu stress halı oliqosen tektonik fəaliyyətlərinə mənsub edildi. Ancaq ola bilsin bu stress halı miosen–pleystosendə də Səhənd vulkanik fəaliyyətlər ilə əlaqədar aktivliyini qorumuşdur. Superpoz sürüşmə şırımlarına malik olan yarıqlarda, əsas komponenti fay növündən olan hərəkətlər bu hal ilə əlaqədardılar. Bu hərəkətin üzərinə daha cavan olan və əsas komponenti sürüşmə yerdəyişməsi olan hərəkət superpoz olduğundan, bu hal paleostress hal kimi nəzərə alındı.

İkinci stress halın (B) maksimum ana stress oxunun oriyentasiyası qırışıqların ox istiqamətlərindən əldə edilmiş maksimum stressin istiqaməti ilə sub-paraleldir (şəkil 4). Bu qırışıqların əksəriyyətinin miosen və daha cavan çöküntülərdə əmələ gəldiklərini, həmçinin Təkalıtı deformasiya zonasının içərisində yaşlı miosendə və onun eşiyyində, qonşu ərazidə yaşlı miosen və pliosen-dördüncü dövrdə formalaşmış qırışıqların istiqamətinin bu stress halın istiqaməti ilə uyğun olduğunu nəzərə alaraq, bu hal müasir stress hal kimi hesab edildi.

**Təkaltı deformasiya zonasında 3-cü stress inversiyanın nəticələri**  
**İzahına bax cədvəl 1.**

Tanınmış stress tensorlar				Təyin edilmiş stress hallar					
$\sigma_1$	$\sigma_3$	$\varphi$	Mak. D	$\sigma_1$	$\sigma_3$	$\varphi$	$D_{MIM}$	$\Theta$	Stress halı
304,9 / 83,7	116,5 / 06,3	0,09	0,6674	039,7 / 77,4	144,4 / 3,2	0,07	0,613	36,018	A
051,3 / 69,7	159,1 / 06,5	0,04	0,6674						
056,4 / 51,0	245,9 / 38,6	0,34	0,8624	050,4 / 45,8	241,8 / 43,7	0,43	0,446	26,463	B
049,0 / 51,7	036,4 / 250	0,37	0,8624						
056,9 / 45,0	245,3 / 44,7	0,51	0,8624						
045,5 / 33,2	220,0 / 56,7	0,57	0,8624						
035,0 / 29,9	215,0 / 60,1	0,60	0,8624						
342,7 / 39,0	158,2 / 50,9	0,87	0,1875	Müstəsna edilmiş					
359,4 / 36,1	148,5 / 49,6	0,90	0,1875						
093,0 / 27,0	359,0 / 09,0	0,24	1,6527	Müstəsna edilmiş					
332,0 / 13,0	115,0 / 74,0	0,69	1,6527						



**Şək. 4.** Qırıqların ox istiqamətlərini göstərən roz diaqram.  $\sigma_{1f}$  qırıqların ox istiqamətlərinin tədqiqində əldə edilən maksimum kompressiv stressdir.

Stress halların oriyentasiyaları və deformasiya rejimlər aşağıdakı kimi anlaşılır. Təkaltı deformasiya zonası iki stress rejimini təcrübə etmişdir (bax şəkil 3c). Birinci stress rejim bir aksiyal kompressional stress haldan ibarətdir. Onun maksimum kompressiv stress oxu subvertikal, orta və minimum ana stress oxları isə subhorizontal və horizontaldır. Bu xüsusiyyətlər faylların əmələ gəlməsi üçün əlverişlidir. Bu hala əsasən əmələ gələn yarıqlar şüa formasında istiqamətlənməlidirlər. Bu özünü nümunə alınmış yarıqların istiqamətlərini göstərir.

mətlərində göstərir, belə ki, ümumi olaraq bütün istiqamətlərdə yarıqlar əmələ gəlmişlər (bax şəkil 3d). Ancaq, onlara aid roz-diaqram trimodal formasındadır. Maksimum ana stress oxun oriyentasiyası, azimut baxımdan qırışıqların ox istiqamətlərindən əldə edilmiş maksimum kompressiv stress oxun istiqaməti ilə paralellik göstərir.

İkinci stress rejimi bir üç oxlu kompressional stress haldan ibarətdir. Onun maksimum ana stress oxu şimal-şərq tərəfdəndir və minimum ana stress ox ilə bənzər meyl bucağını əmələ gətirir. Orta ana ox isə subhorizontaldır. Bu xüsusiyyətlər deformasiya zonasında fay və əks fayların əmələ gəlməsinə imkan yaradır. Bu stress hala əsasən, Şimali Təbriz yarıq zonasında, həmçinin Atbatan yarığında vergensiyaları az miqdarda cənub-qərbə və şimal-şərqə tərəflərinə yarıqlar, sıra ilə, əks fay və fay komponentinə malik olmalıdır.

Şimali Təbriz yarığının burada olan seqmentinin ümumi istiqaməti CŞ120° təşkil edir. Bu azimutda olan yarıq, B stress halının maksimum ana stress ox istiqamətinə nisbətən, az miqdarda olsa da, sol yönlü sürüşmə yerdəyişmə hərəkətinə malik olmalıdır (bax şəkil 2). Bu hərəkət isə, Şimali Təbriz yarığının sağ yönlü sürüşmə yerdəyişmə xarakteri ilə konfliktlidir. Toplanan yarıq məlumatlarına əsasən ümumi istiqaməti şərq-qərb olan yarıqlar sayca çoxdur. Öz növbəsində, bu yarıqların arasında sol yönlü sürüşmə yerdəyişmə komponentinə malik yarıqlar əksəriyyət təşkil edirlər. Bu səbəblərdən ola bilsin, Şimali Təbriz yarığının deformasiyasını əks etdirən stress tensorlar inversiyada tanınmamışlar. C.Liza və R.Layl [13] MIM-in bu çatmaz cəhətinə toxunaraq, inversiyada sayca az olan müəyyən yarıqların tanınmamalarını ifadə etmişlər. Birinci inversiya cəhdindən əldə edilən stress hallar arasında ikinci stress halın (b) maksimum ana stress oxunun oriyentasiyası ŞŞ013°/38° formasındadır. Bu halın stress nisbəti sadəcə bir interval (0,1) B stress halından azdır. Üç ox təxminən eyni meylə malikdirlər. Bu halın maksimum ana stress oxunun istiqaməti Şimali Təbriz yarığının sağ yönlü sürüşmə yerdəyişmə xarakteri ilə uyğundur. Həmin stress hala əsasən Şimali Təbriz yarıq zonasında, həmçinin Atbatan yarığında şimal-şərq və cənub-qərb tərəfə vergensiyası olan yarıqlar, sıra ilə, fay və əks fay komponentinə malik olmalıdırlar.

Təkaltı deformasiya zonasının şərq və cənub-şərq tərəfində (zonanın daxili və xaricində və Atbatan yarığının yaxın ərazisində) kiçik miqyaslı qırışıqlar əmələ gəlmişlər (bax şəkil 2). Onların ox istiqamətləri ümumi olaraq şimal-cənubdur. Müstəsna edilmiş yarıq-sürüşmə məlumatlarının inversiyasından əldə edilmiş stress tensorlar arasında kompressional stress nisbətinə malik olan tensorun maksimum kompressional stress oxunun istiqaməti şərq-qərbidir. Bu səbəbdən, həmin stress tensor qeydə dəyər hal kimi nəzərə alındı.

Üçüncü inversiyadan əldə edilən stress tensorların ortalama parametrləri  $\sigma_1 = \text{ŞŞ}048^\circ / 48^\circ$ ;  $\sigma_3 = \text{CŞ}238^\circ / 41,6^\circ$ ;  $\Phi = 0,35$ ;  $D_{\text{MIM}} = 0,584$  formasındadır. Ümumi olaraq, Təkaltı zonasında kompressional stress rejimləri hakim olmuş və kompressional-ekstensional deformasiyaya səbəb olmuşlar.

## Yekun

Təkəlti deformasiya zonasında iki tektonik epizod müəyyən edildi.

1. A stress halı bir aksiyal kompressional stress rejimidir. Bu halda, maksimum ana stress oxu ən dik oxdur. Orta və minimum oxlar isə subhorizontaldirlər. Bu stress hal oliqosen-miosen tektonik fəaliyyətləri ilə əlaqədardır.

2. B stress halı bir kompressional stress rejimidir. Onun ən dik oxunu maksimum ana stress oxu, subhorizontal oxunu isə orta ana stress oxu formalaşdırır. Bu stress halı pliosen-dördüncü dövr tektonik fəaliyyətləri ilə əlaqədardır.

3. Ümumiyyətlə, Təkəlti deformasiya zonasında kompressional stress rejimləri hakim olubdur və kompressional-ekstensional deformasiya sürüşmə yerdəyişmələri vasitəsilə baş vermişdir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Aghanabati A. The geology of Iran. Tehran: Geological Survey of Iran, 2006, 586 P.
2. Alavi M. Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the alborz mountain system in Northern Iran // *Journal of Geodynamics*. 1996, v. 2. p. 1–33.
3. Angelier J. Tectonic analysis of fault slip data sets // *Journal of Geophysical Research*. 1984, v. 89. p. 5835–5848.
4. Angelier J. From orientation to magnitudes in paleostress determination using fault slip data // *Journal of Structural Geology*. 1989, v. 11 (2). p. 37–50.
5. Behrouzi A., Amini-Fazl A., Amini-Azar B. Geologic map of the Bostanabad Quadrangle. Tehran: Geological survey of Iran, 1997, Scale 1:100,000.
6. Bott M.H.P. The mechanisms of oblique slip faulting // *Geological Magazine*. 1959, v. 96. p. 109–117.
7. Doblas M. Slickenside kinematic indicators. *Tectonophysics* // 1998. v. 295. p. 187–197.
8. Eftekhar-nejad A. Brief description of tectonic history and structural development of Azarbaijan. Geological Survey of Iran. 1975, Tehran. Int. Rep.
9. Faridi M., Hagh-Farshi E. Geologic map of the Khoja Quadrangle. Tehran: Geological survey of Iran, 2006, Scale 1:100,000.
10. Golonka J. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic // *Tectonophysics*. 2004, v. 381. p. 235–273.
11. Homberg C., Hu, C., Angelier B., Bergerat F., Lacombe O. Characterization of stress perturbations near major fault zones: insights from 2-D distinct-element numerical modelling and field studies (Jura mountains) // *Journal of Structural Geology*. 1997, v. 19(5). p. 703–718.
12. Koçyiğit A., Yilmaz A., Adamia S., Kulshovili S. Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting // *Geodinamica Acta*. 2001, v. 14. p. 177–195.
13. Liesa C.L., Lisle R.J. Reliability of methods to separate stress tensors from heterogeneous fault-slip data // *Journal of Structural Geology*. 2004, v. 26. p. 559–572.
14. Lisle R.J. Principal stress orientations from faults: an additional constraint // *Annales Tectonicae*. 1987, v. 1. p. 155–158.
15. Lisle R.J. Romsa: a Basic program for palaeostress analysis using fault-striation data // *Computers & Geosciences*. 1988, v. 14. p. 255–259.
16. Lisle R.J., Orife T. STRESSTAT: a Basic program for numerical evaluation of multiple stress inversion results // *Computers & Geosciences*. 2002, v. 28. p. 1037–1040.
17. Lisle R.J., Orife T.O., Arlegui L., Liesa C., Srivastava D.C. Favoured states of palaeostress in the Earth's crust: evidence from fault-slip data // *Journal of Structural Geology*. 2006, v. 28. p.1051–1066.
18. Némecok M., Lisle R.J. A stress inversion procedure for polyphase fault/slip data sets // *Journal of Structural Geology*. 1995, v. 17. p. 1445–1453.

19. Nieto-Samaniego A.F., Alaniz-Alvarez S.A. Origin and tectonic interpretation of multiple fault patterns // *Tectonophysics*. 1997, v. 270. p. 197–206.
20. Orife T., Lisle R.J. Numerical processing of palaeostress results // *Journal of Structural Geology*. 2003, v. 25. p. 949–957.
21. *The Techniques of Modern Structural Geology; Applications of Continuum Mechanics in Structural Geology*: 3 volume, 3rd v., London: Academic Press, 2000, p. 701-1060.
22. Twiss R.J., Moores E.M. *Structural Geology*. New York: Freeman, 1992, 532 p.
23. Vernant P., Nilforushan F., Hatzfeld D., Abbasi M.R., Vigny C., Masson F., Nankali H., Martinold j., Ashtiani A., Tavakoli F., Chery J. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman // *Geophys. J. Int.* 2004, v. 157. p. 38–398.
24. Wallace R.E. Geometry of shearing stress and relation to faulting // *Journal of Geology*. 1951, v. 59. p. 118–130.
25. Yamaji A., The multiple inverse method applied to meso-scale faults in mid-Quaternary fore-arc sediments near the triple trench junction off central Japan // *Journal of Structural Geology*. 2000, v. 22. p. 429–440.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРЕССОВОГО РЕЖИМА ДЕФОРМАЦИОННОЙ ЗОНЫ ТЯКАЛТЫ**

**А.Э.ЮСИФИ-БАВИЛ**

### **РЕЗЮМЕ**

На основании применения стресс-инверсионной методики в Тякалтинской деформационной зоне исследованы случаи стресса. Установлены два тектонических эпизода: 1 – режим компрессионного стресса, связанный с олигоцен-миоценовой тектонической активностью; 2 - режим компрессионного стресса, относящийся к плиоцен-четвертичному времени. В целом, компрессионный стрессовый режим, существовавший в Тякалтинской зоне, способствовал формированию компрессионно-экстензиональных деформации под воздействием тектонических подвижек сбросо-сдвигового характера.

**Ключевые слова:** палеостресс, инверсия стресса, режим деформации

## **STUDY OF STRESS REGIMES IN TAKALTI DEFORMATION ZONE**

**A.E.YOUSEFI-BAVIL**

### **SUMMARY**

Stress inversion techniques have been used to study the local stress states within Takalti deformation zone. Two tectonic episodes are recognised: 1- Oligocene-Miocene compressional stress regime; 2- Plio-Quaternary compressional stress regime. Generally, within Takalti deformation zone, compressional stress regimes are conducted by normal and strike-slip faults, which are caused by compressional-extensional deformations.

**Key words:** paleostress, inversion stress, mode of deformation

Redaksiyaya daxil oldu: 29.05.2011-ci il.

Çapa imzalandı: 27.07.2011-ci il.