Finite Strain Estimation in Baba Dome Using Fry Method
(NE Iraq)

1Duraid B. Deikran, 2Waad M. AL_Hamdani
Applied geology department / College of science / Kirkuk University
1duraid337@gmail.com, 2waadmohammed89@gmail.com
Received date: 25 / 1 / 2015 Accepted date: 8 / 3 / 2015

ABSTRACT

Literatures survey indicates that no such study carried out concerning strain measurement and analysis in the concerned area. The well-known field and laboratory work carried out. An accurate ellipse was determined for each ab, bc and ac planes for each formation exposed in Baba dome using Matlab program with a relatively new toolbox (Polylx). Then for each sample the mentioned ellipses was mathematically compiled to generate strain ellipsoid with long, intermediate and short axes with their orientations using Mathcad software. Then the long and short axes of strain ellipsoids projected on ab plane and delineated. Because Baba dome took the present form during last phase of Alpine Orogeny (Miocene -Pliocene) with contemporaneous deposition of Mio- Pliocene formations, the present study deduced that the strain is directly proportional to the stress i.e. elastic deformation. Therefore, the orientation of short axes of strain ellipsoids should coincide with orientation of maximum stress axes giving rise the orientation of maximum stress direction in sampled station.

Keyword: Finite strain, Fry method, Strain, Stress
تخمن الانفعال الكلي باستعمال طريقة فراي في قبة بابا - شمال شرق العراق

دريط بهجت ديكان1، وعد محمد خليف2
جامعة كركوك / كلية العلوم / قسم الجيولوجي
1duraid337@gmail.com ، 2waadmohammed89@gmail.com

تاريخ قبول البحث: 8 / 3 / 2015
تاريخ استلام البحث: 25 / 1 / 2015

الملخص
تدل الدراسات السابقة إلى عدم تنفيذ دراسة تخص حساب وتحليل الانفعال في منطقة الدراسة. نفذ العمل الحضي والختيبري وحسب السياقات المتصلة. حددت اهاليج ثنائية الابعاد لكل من المستوى (ab, bc, ac) لكل توينين متكشف في قبة بابا وذلك عن طريق استخدام برنامج الماتلاب وتم تصميم اهاليج ثلاثية الابعاد واتجاه كل محور حيث تم حساب اطوال واتجاهات هذة المحاور عن طريق برنامج الماتلاب، محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابعاد مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم حساب اطوال واتجاهات هذة المحاور عن طريق برنامج الماتلاب، محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابعاد مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم حساب اطوال واتجاهات هذة المحاور عن طريق برنامج الماتلاب، محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابعاد مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابعاد مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابعاد مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابعاد مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابعاد مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابعاد مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابعاد مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابعاد مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابعاد مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل والمتوسط والقصير واتجاه كل محور حيث تم للحصول على اهاليج ثلاثية الابادات مع اطوال المحاور: محور الطويل وم

1.INTRODUCTION
Among a large numbers of available strain estimation techniques, the Fry method [1] for point distribution analysis has been used extensively for the last four decades. Based on the relative displacement of material points, typically object centers, the Fry method produces a point distribution with a characteristic central vacancy [1&2]. The central vacancy has the shape of a measurable ellipse and strain determination is straightforward, provided the point distribution was initially isotropic anticlustered and the sample size is sufficiently large [3,4,5&6].
Improvement of Fry method carried out by many researchers, among those: [7&8], this is a powerful tool for measuring fabric in various types of aggregates of packed grains lacking other adequate markers. [9] proposed a bootstrap version of the mentioned normalized Fry method. The image-analysis method [10] uses Gaussian blur filter for distinction between the areas of largest and smallest pixel intensities in a Fry plot image. It then applies the optimal threshold value and an inversion filter for extraction of the sharp central vacancy.

The recent analytical methods, such as the point-count density method, or the continuous function method use a trial and error approach for searching the best-fit ellipse through the central vacancy in a normalized Fry plot [11].

The aim of the present study is to estimate finite strain for various formations cropped out in study area.

2. LOCATION AND GEOLOGIC SETTING

The study area covered 250 km² lies within Iraqi territory between longitude (E44°06’ 09″ - 44° 31’ 38″) and latitude (N 35° 22’ 50″ - 35° 43’ 01″). The NW end (Amsha saddle) border the Lesser Zab River while the SE end is at Targil area southeast of Kirkuk city, Figure (1).

Tectonically, the study area lies on the NE region of Arabian Plate. It lies within low folded zone of Unstable shelf area and contains many sinuous anticlines (some of them affected by reverse faults on the SW limb) separated by relatively wide syncline filled by fine clastic deposits of Quaternary age, [12]. Baba dome (study area) is one of largest oil trap in the world. Extensive geophysical & geologic works carried out during exploration of oil. This study is a surface contribution to mentioned studies. The present study is considered the first dealing with strain in the study area.

Structurally, the study area on geologic map appears as trace of reverse fault with inclined bed (23°- 60°) toward NE, Figure (2). The fault plane is within sulfurous bed of Middle Miocene causing the SW limb obscure, while depth wise the study area is simple symmetrical fold, [13].

Miocene & Pliocene formation crops out in the study area named: Fatha ((Middle Miocene, 370 m. thick), Injana (Upper Miocene, 1266 thick), Mukdadiya (Pliocene, 840m. thick)) and Bia-Hassan (Pliocene, 906.5m. thick). The mentioned formations (from older to younger) as a bulk
represent facial change from lagoon to continental passing through lacustrine. These formations have lithology varying from gypsum, marl claystone sandstone and conglomerate.

*Figure (1)*: Location map of studied area. A: Tectonic map of the northern part of Iraq, Buday & Jassim 1987 with the location of the study area B: Landsat image, shows the study area and sampled positions.
**Figure (2):** Geological map of study area compiled in the present study with strain axes (long and short) of the determined strain ellipsoid.
3. METHODOLOGY

The systematic actions for this work are as follow:

1- Six traverses (profiles) covering the study area delineated on satellite image. Each with three sampled stations (one sample per formation).

2- Oriented samples due to attitude of beds picked.

3- Laborotary work includes cutting the samples in the form of cube due to strike, dip direction lines drawn on the surface of the sample producing ab, bc and ac planes due to tectonic axes.

4- Three perpendicular plane are chosen for making slides. Each slide photographed.

5- Matlab software with Polylx toolbox [14] used to extract fry plot for each plane Figure 3. The plot including R (ratio of long and short axes of strain ellipse) and theta (angle of long axis of strain ellipse with x-axis) saved in other file.

6- Using Mathcad software, a compilation of the resulted three ellipses data, carried out for each sample, into an ellipsoid was carried out [15]. Each ellipsoid has the length of three semi axes with their orientations Table (1).

7- The long and short axes of strain ellipsoid projected on bedding plane and delineated on satellite image, Figure (2).
**Figure (3):** Examples of the extracted strain ellipses from microphotograph of the picked samples.

**Table (1):** Details of the calculated strain ellipsoid

| Traverse/ station | Formation | Attitude of bed | Lengths of strain ellipsoid axes | Orientation of strain ellipsoid axes/ plunge |
|-------------------|-----------|-----------------|----------------------------------|---------------------------------------------|
|                   |           | Strike | 1+e1 | Dip direction | Long | Intermediate | Short | 1+e2 | Long | Intermediate | Short |
| 1/1               | Bai-Hassan | 317    | 1.356 | 47 | 50 | 1.085 | 0.436 | 275.231/ | 21.396/ | 127.169/ |
|                   |           |        |       |               |      |            |       | 87.312  | 16.38  | 87.234  |
| 1/2               | Mukdadiya | 329    | 1.301 | 59 | 41 | 1.152 | 0.334 | 292.457/ | 4.398/  | 229.631/ |
|                   |           |        |       |               |      |            |       | 59.966   | 41.99   | 82.913   |
| 1/3               | Injana    | 319    | 1.393 | 49 | 42 | 1.024 | 0.597 | 221/     | 318.544/| 47.641/  |
|                   |           |        |       |               |      |            |       | 77.03    | 0.63    | 83.015   |
| 2/1               | Bai-Hassan | 317    | 1.248 | 47 | 20 | 1.083 | 0.55  | 216.55/   | 150.245/| 139.462/ |
|                   |           |        |       |               |      |            |       | 25.221   | 52.373  | 57.157   |
| 2/2               | Mukdadiya | 323    | 1.262 | 53 | 46 | 1.217 | 0.328 | 82.698/   | 255.054/| 317.549/ |
|                   |           |        |       |               |      |            |       | 78.344   | 30.597  | 88.454   |
| 2/3               | Injana    | 322    | 1.312 | 52 | 26 | 0.907 | 0.827 | 229.002/ | 313.781/| 53.451/  |
4. FINITE STRAIN ANALYSIS

All ellipses in three perpendicular plane lies in zone 2, Figure (4), A,B &C. This zone due to [16] shows dominant shortening in one sector and dominant stretching in another. Due to (op sit) competent layers involved in such strain field shows buckle fold. The change in area (ΔA) is very small and negligible.

Various shape of the determined strain ellipsoid according to Flinn diagram, [16] in the study area. 72% to 28% are the percent of flattening and constriction respectively. All ellipsoids that
determined from samples of Bia Hassan Formation are of flattened type. In general, flattening and constriction forms divide the study area into two parts: SW and NE respectively with some exceptions see Figure 4D.

1. $1 > k \geq 0$ 1/1,3 2/1 3/3 4/1 6/1 flattening: Pankate form (oblate ellipsoid)
2. $k \approx 0$ 1/2 2/2 6/3 flattening : Uniaxial normal to pankate ($R_{xy}=1$)
3. $\infty \geq k > 1$ 2/3 4/2,3 5/2,3 constriction : Cigar like form (prolate ellipsoid)
4. $k \approx \infty$ 6/2 constriction: Uniaxial parallel to cigar axis ($R_{yz}=1$)
5. $k \approx 1$ 3/1,2 5/1 Line separating flattening and constriction in Flinn diagram

Note: The symbol $\sim$ means near or close to

The Late Alpine deformations i.e. fold and fault in the study area can be described by two stages: the first “plastic” that was responsible for fold formation, the second “elastic” that was responsible for reverse fault and joint development respectively. Both stages were continuous and the second stage is younger and caused by differential stress with aid of salts layer that prevent fault to continue more downward.

The witnesses that lead to say that finite strain is directly proportion to stress in the study area are:

- The timing of Late Alpine Orogeny, Mio-Pliocene, is close to the age of studied formations. This means that there was no time for strain accumulation pre orogeny.
- The aforementioned elastic stage means that the strain is directly proportion to stress. [17].

Consequently, the orientation of the short axes of the calculated strain ellipsoid axes $(1+\varepsilon_3)$ should coincide with the maximum stress orientation. Hence by drawing the orientation of strain ellipsoids axes on a map may represent the orientation of major principal stress orientation.

Thus, as Figure (2) show there are two main directions of stress: the first runs perpendicular and/or oblique to elongation of the structure which is responsible for structure formation and the second runs with the elongation of the structure and considered her as younger than the first.
**Figure (4):** A, B & C: Classification of strain ellipses shapes, original diagram is from Ramsay & Huber, 1983 D: Flinn diagram of the analyzed samples original diagram is from Ramsay & Huber, 1983.
5. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

- The work procedure, systematic action, for three-dimension finite strain calculation is shown in this work.

- The finite strain of Upper Miocene and Pliocene has calculated in the form of strain ellipsoids with length of semi axes and their orientations. The shape of ellipsoid is of constriction and flattening type.

- There are three orientations of elongation (due to strike of bed): the first perpendicular, the second is oblique and the third is parallel.

- The shortening in the Pliocene rock (Bia Hassan Formation) is perpendicular to the strike of bed in the NW portion while it is parallel in the SE portion. The Pliocene rock (Mukdadiya Formation) shows the orientations, due to the strike of beds, of $1+e_3$ is: perpendicular, oblique and parallel. The U. Miocene (Injana) Formation shows nearly perpendicular relation with the strike of beds.

- From above mentioned findings, the stress orientations for each station are estimated assuming that strain is directly proportion to stress due to the contemporaneous timing of last phase of Alpine Orogeny and the age of the exposed formations.

- The authors highly recommend another strain calculating method to carry out in the study area to compare the results and to be sure that the present calculation is near to truth.
REFERENCES

[1] N., Fry, 1979, Random point distributions and strain measurement in rock, Tectonophysics, 60: 806-807.

[2] S. S., Hanna, and N., Fry, 1979, A comparison of methods of strain determination in rocks from SW Dyfed (Pembrokeshire) and adjacent area. Struct. Geol., 1(2): 155-162.

[3] J. M., Crespi, 1986, Some guideline for practical application of Fry method of strain analysis, J. Struct. Geol., 8: 799-808.

[4] D. G., De Paor, 1996, Structural Geology and Personal Computers. Pergamon Press, London, p. 546.

[5] P. P., Rodai, M.K., Purohit, K.K., Prajapati, 2010, A computer program for the determination of finite strain using Fry method, Journal of the Geological Society of India 76, 151e154.

[6] R. J., Lisle, 2010, Strain analysis from point fabric patterns: an objective variant of the Fry method. Journal of Structural Geology 32, 975e981.

[7] E. A., Erslev, 1988, Normalized center-to-center strain analysis of packed aggregate, J. Struct. Geol. 10: 201-210.

[8] E. A., Erslev, H., Ge, 1990, Least-squares center-to-center and mean object ellipse fabric analysis, Journal of Structural Geology 12, 1047e1059.

[9] M. A., Mc Naught, 2002, Estimating uncertainty in normalized Fry Plot using a bootstrap approach, 24: 311-322.

[10] B. S., Sampath Reddy Vinta, D. C., Srivastava, 2012, Rapid extraction of central vacancy by image-analysis of Fry plots, 40: 44e53.

[11] J.W.F., Waldron, K.D., Wallace, 2007, Objective fitting of ellipses in the centre-to-centre (Fry) method of strain analysis, Journal of Structural Geology 29, 1430e1444.

[12] T., Buday, and S. Z., Jassim, 1987, The regional geology of Iraq. vol. 2, Tectonism, Magmatism, and Metamorphism. In: Al-Kassab, I. and Abbas, M.J. (editors) Geosurv., Baghdad.

[13] H. V., Dunnington, 1958, Generation, Migration, Accumulation, and Dissipation of oil in NE Iraq. AAPG, pp: 1194-1251.

[14] O., Lexa, 2010, Matlab toolbox for microstructure analyses.
[15] N., Milton, 1980, *Determination of the strain ellipsoid from measurement on any three sections*, Tectonophysics, 64: T19-T27.

[16] J. G., Ramsay, and M. I., Huber, 1983, *The Techniques of Modern Structural Geology*, vol. 1, Strain Analysis, Academic Press Inc. (London) Ltd, 306 p.

[17] M. P., Billings, 1972, *structural geology, 3rd London, Printice-Hall Incidence*, 606p.

**AUTHOR**

Duraid B. Deikran: B.Sc. 1974, M.Sc. 1998, Ph.D. 2003.

Jurisdiction exact calculation and analysis of overall emotion.