المستوي الفوتومتري والمستوي الأساسي للعنقود المجري العذراء

سعد محمود يونس و محسن حسن علي

قسم الفيزياء/كلية التربية/جامعة الموصل

تاريخ الاستلام 2006/10/2

تاريخ القبول 2006/11/15

Abstract

The photometric and fundamental plane for a sample of early type galaxies(elliptical and lenticular galaxies) which belongs to Virgo cluster have been calculated by fitting the Sersic model ($r^{1/n}$-model) to the surface brightness profiles along the major axis of the these galaxies. The results show that the photometric plane has the following relation $r_e \propto n^{0.83} \langle I \rangle_e^{-0.44}$ with a vertical scatter of 0.199 in log r_e, this scatter translates to a 58 per cent error in distance per galaxy, and for the fundamental plane the relation found to have the following form $r_e \propto \sigma_0^{0.9} \langle I \rangle_e^{-0.62}$ with a vertical scatter of 0.124 in log r_e, this scatter translates to a 33 per cent error in distance per galaxy.

الملخص

تم حساب المستوي الفوتومتري PHP والمستوي الأساسي FP لعينة من المجـرات الأوليـة (اهليلجية وعدسية) تعود الى العنقود المجري العذراء وذلك باستخدام نموذج Sersic لمطابقة منحنيات السطوع السطحي على طول المحور الرئيسي لعينة المجرات، وبينـت الدراسـة أن المستوي الفوتومتري يتمثل بالعلاقة الاتية: $r_e \propto n^{0.83} \langle I \rangle_e^{-0.44}$. وانـه يمتلـك تـشتتا عموديا في log r_e يساوي 0.199 ، وهذا التشتت يسبب خطأ مقداره 58% في حساب بعـد أي من هذه المجرات، إمـا بالنـسبة للمـستوي الأساسـي فقـد وجـد أن العلاقـة هـي، $r_e \propto \sigma_0^{0.9} \langle I \rangle_e^{-0.62}$، وانه يمتلك تشتتا عموديا في log r_e يـساوي 0.124 وهـذا التشتت يسبب خطأ مقداره 33% في حساب بعد أي من هذه المجرات.

المقدمة:

إن دراسة المعلمات الفوتومترية المشتقة من تطابق الارصاد نماذج منحنيات النورانيـة المقترحة لتمثيل منحنيات السطوع السطحي للمجرات الاهيليجية والعدسية أدى إلى اكتـشاف العديد من الترابطات بين هذه المعلمات، في دراستهم الفوتومترية Djorgovski & Davis (1987) لعينة من المجرات الاهيليجية وباستخدام نموذج- $r^{1/4}$ ، بينوا أن هذه المجـرات تشغل مستوي في فضاء المعلمات الفوتومترية المتمثلة بـ r_e نصف القطر القطبـي المـؤثر و μ_e السطوع السطحي عند r_e وسرعة التشتت σ ، وهذا المستوي يدعى بالمستوي الأساسي (Fundamental Plane) FP، ووجـدوا أن هـذا المـستوي يتمثـل بالعلاقـة $r_e \propto \sigma_0^{1.39} \langle I\rangle_e^{-0.90}$ حيث $\langle I\rangle_e$ تمثل معدل السطوع السطحي بوحدات الشدة ضمن نـصف القطـر القطبـي المـؤثر r_e و σ_0 سـرعة التـشتت المركـزي للمجـرة. Jorgensen et al., (1996) وجدوا ان المجرات الاهيليجية والعدسية والتي تعود إلى عشرة عناقيد مجرية تتوزع بشكل جيد بمستوي يتمثل بالعلاقـة $r_e \propto \sigma^{1.24} \langle I\rangle_e^{-0.82}$، مـع تشتت في $\log r_e$ مقداره 0.084، وأن التشتت فـي $\log r_e$ يـصبح مقـداره 0.073 لعينـة المجرات التي تمتلك سرعة تشتت اكبر من $100\ \mathrm{kms^{-1}}$، وهذا التشتت يكافيء 17% مقـدار الخطأ في قياس بعد كل مجرة، وقد استنتجوا أن المعلمات التركيبية للمجرات مثـل درجـة الاهيليجية أو شكل منحنيات تساوي الشدة (isophotes) لا يؤدي إلى خفض التشتت، وهـذا يتناقض مع النماذج التي تتوقع وجود قرص في المجرات الاهيليجية والعدسية يؤدي إلى زيادة التشتت في المستوي الأساسي.اما بالنسبة الى ميل المستوي فقد بينت الدراسة أن ميل المستوي الأساسي لا يختلف من عنقود إلى أخر، وان تأثيرات اختيار العينة وأخطاء القياسـات تـؤدي إلى اختلاف في حساب الميل، اما Graham (1997) وجد أن المستوي الاساسـي يتمثـل بالعلاقة $r_e \propto \sigma_0^{1.44\pm0.11} \langle I\rangle_e^{-0.93\pm0.08}$، كما بين أن المستوي الأساسي المحسوب باستخدام نموذج ـ $r^{1/n}$ يمتلك تشتتا اقل من ذلك المشتق من نموذج ـ $r^{1/4}$.

Khosroshahi et al., (2000) استخدموا المعلمات الفوتومترية فقط لتشكيل مستوي أطلق عليه المستوي الفوتومتري PHP (Photometry Plane) وهذه المعلمات هي معلم الـشكل n لنموذج ـ $r^{1/n}$، r_e و μ_0 السطوع السطحي عند المركز، واستنتجوا أن هذا المـستوي يتمثـل بالعلاقة الاتية.

$$\log n = (0.173 \pm 0.25) \log r_e - (0.069 \pm 0.007)\mu_b(0) + (1.18 \pm 0.05)$$

إن المستوي الفوتومتري PHP يعتبر نقلة نوعية في مثل هذه النوع من الدراسات اذ انـه لا يتطلب حساب سرعة التشتت σ كما هو عليه الحال بالنسبة للمستوي الأساسي FP وبالتالي وفر هذا المستوي الكثير من الجهد والوقت والكلفة. La Barbera et al., (2005) درسـوا المستوي الفوتومتري لعدد كبير من المجرات الاهليجية والعدسية عنـد $Z \sim 0.3$ (الزحزحـة نحو الأحمر الناتجة عن تأثير دوبلـر) ، إذ توصـلوا أن هـذا المـستوي يتمثـل بالعلاقـة $r_e \propto n^{1.07\pm0.06} \langle I \rangle_e^{0.55\pm0.009}$ ، وان التشتت الذاتي في $\log\ r_e$ يسبب خطـأ فـي حساب بعد هذه المجرات بمقدار 32%، كما بينوا أن هذه العلاقة لا تعتمد على الحزمة الطيفية المـستخدمة، وان الميـل للمـستوي الفوتـومتري لا يتغيـر بـشكل واضـح مـع Z.

استـــخدم Lynden-Bell et al., (1988) المستوي الأساسي في إيجاد مؤشر المـسافة لكوكبة الشجاع (Hydra) والعنقـود المجـري العملاق قنطورس (Centaurus) ، بينمـا استخدم المستوي الفوتومتري من قبل (2002) Graham في إيجاد مؤشر المـسافة لعنقـود العذراء وعنقود فورنكس.

حساب المعلمات الفوتومترية لعينة المجرات:

اختير عدد من المجرات الاهليجية والعدسية التي تعود إلى عنقود العـذراء والتـي يتوفر لها منحنيات سطوع سطحي وسرعة تشتت مركزي منشورة في دراسات سابقة، حيث اشتملت العينة على 27 مجرة 15 منها مجرة اهيليجية و12 مجرة عدسية. القـراءات التـي تمثل منحنيات السطوع السطحي على طول المحور الرئيسي وضمن الحزمة الزرقـاء (B-band) أخذت من Caon et al., (1990)، أما قياسات سرعة التشتت المركزي للعينة اخذت من موقع Hypercat* على شبكة الانترنيت. وللحصول على المعلمات الفوتومتريـة لعينـة المجرات تمت مطابقة منحني الـسطوع الـسطحي لكـل مجـرة مـع نمـوذج ـ $r^{1/n}$ (Sersic1968)

$$\mu(r) = \mu_o + 1.0857\ b_n\ (\frac{r}{r_e})^{1/n} \ ....(1)$$

r المسافة القطبية من مركز المجرة، r_e نصف القطر القطبي المؤثر، و μ_o السطوع السطحي عند المركز

ولإيجاد أفضل قيم لهذه المعلمات تم بناء برنامج على الحاسبة الالكترونية يـستخدم طريقـة مطابقة التربيعات الصغرى(Least-Square Fitting) لحساب أفضل نموذج يمثل منحني

*Hypercat: http://www.obs.univ-lyon1.fr/hypercat/

السطوع السطحي للمجرة (انظر2005 Muhsin). وتتمثل العلاقـة التـي تـربط الـسطوع السطحي عند المركز مع السطوع السطحي عند نصف القطر القطبي المؤثر كالاتي:

$$\mu_e = \mu_o + 1.0857\, b_n \qquad \text{..... (2)}$$

b_n دالة معلم الشكل n وتحسب قيمتها من المعادلة الاتية

$$b_n = 2n - 0.327 \qquad \text{..... (3)}$$

للتخلص من تأثيرات الرؤية تم تجنب الجزء المركزي من منحنيات السطوع السطحي حيـث أهملت القراءات التي يتوقع أن يكون فيها تأثيرات الرؤية اكبر من 5% وحدد القطـع علـى أساس العرض الكامل عند منتصف الشدة(FWHM) لدالة الانتشار النقطـي PSF المرافقـة لأرصاد العينة (Caon et al., 1990)، حـيث اعـتمدت الـقراءات الـتي تكـون فـيها المسافة القطبية $r > 1.5$ FWHM ، أما فيما يخص الأجـزاء الخارجيـة مـن منحنيـات السطوع السطحي والمتأثرة من جراء رفع سطوع خلفية السماء تم اعتماد القراءات التي يكون فيها السطوع السطحي $\mu_B \le 26\,\text{mag}/\square''$ لكون هذه القيمة تمثل تقريبا 2% مـن سـطوع خلفية السماء. والجدول (1) يبين المعلمات الفوتومترية r_e, n و μ_e المحسوبة مـن تطـابق نموذج ـ $r^{1/n}$ لمنحنيات السطوع السطحي لمجرات العينة.

المستوي الفوتومتري والمستوي الأساسي:

لغرض البحث عن أفضل تطابق للمستوي الفوتومتري PHP الذي يمثل التـرابط بـين معلمات النورانية r_e, n و μ_e تم اعتماد المعادلة الاتية (La Barbera et al., 2005)

$$r_e\,(kpc) \propto n^{A_{php}} \langle I \rangle_e^{-B_{php}} \qquad \text{......(4)}$$

A وB ثوابت، أما للمستوي الأساسـ ـ ـي FP فقد اعتمدت المعادلة الاتية (Jorgensen et al.,1999)

$$r_e\,(kpc)\ \alpha\ \sigma_o^{A_{FP}} \langle I \rangle_e^{-B_{FP}} \qquad \text{......(5)}$$

σ_o سرعة التشتت المركزي للمجرة.

لتقليل التشتت الحاصل في حسابات هذين المستويين، اعتمد معدل السطوع الـسطحي $\langle\mu\rangle_e$ ضمن النصف القطر القطبي المؤثر r_e بدلا من السطوع السطحي عند نصف القطر القطبـي المؤثر μ_e، والعلاقة الاتية استخدمت في حساب $\langle\mu\rangle_e$ (Graham,1997)

$$\langle\mu\rangle_e = \mu_e - 2.5\log\left(\frac{n\ e^{b_n}}{{b_n}^{2n}}\Gamma(2n)\right) \qquad \text{….. (6)}$$

Γ دالة كاما.

كذلك تم تحويل وحدة قياس r_e من الثانية القوسـية (arcsec) إلـى وحـدة قيـاس المـسافة بالكيلوبارسك (kpc)، باستخدم العلاقة الاتية

$$r_e\,(\text{kpc}) = \frac{d(kpc)\times 2\pi \times re(arc\,\text{sec})}{360\times 60\times 60} \qquad \text{….. (7)}$$

d(kpc) يمثل بعد العنقود المجري.

ولحساب بعد العنقود المجري والقدر المطلق لكل مجـرة (M_B) اعتمـد معامـل المـسافة 31.3 mag لعنقود العذراء (Capaccioli & Caon 1991). الجـدول (1) يبـين قـيم $\langle\mu\rangle_e$ (mag/arcsec^2) ، log r_e بوحدات kpc ، وسرعة التشتت المركزي σ_0(كم/ثانيـة) لكل مجرة.

ولإيجاد العلاقات الرياضية التي تعبر عن المستويين الفوتومتري والاساسي لعينة المجـرات تم بنـاء برنـامج علـى الحاسـبة الالكترونيـة يـستخدم طريقـة التربيعـات الـصغرى (Least-Square Fitting) في حساب أفضل قيمة لكل من A وB في المعـادلتين (4)و(5) (انظرMuhsin 2005).

النتائج والمناقشة :

بينت النتائج التي ان المستوي الفوتومتري للعينة المعتمدة في هذه الدراسة يتمثـل بالـصيغة الاتية

$$r_e \propto n^{0.83}\ \langle I\rangle_e^{-0.44} \qquad \text{……(8)}$$

مع تشتت عمودي في $\log r_e$ للمستوي الفوتومتري يساوي 0.199 وهذا التشتت يسبب خطأ مقداره 58% في بعد المجرات، والشكل (1) يبين هذا المستوي في الفضاء الثلاثي للوغاريتم المعلمات الفوتومتري الثلاثة r_e ، n و $\langle I\rangle_e$.

أما بخصوص المستوي الأساسي FP فقد وجد أنه يتمثل بالعلاقة الاتية

$$r_e \propto \sigma_0^{0.9} \langle I\rangle_e^{-0.62} \qquad \ldots\ldots(9)$$

مع تشتت عمودي في $\log r_e$ يساوي0.124 وهذا التشتت يسبب خطأ مقداره 33% في بعد المجرات. والشكل (2) يبين هذا المستوي في الفضاء الثلاثي للوغاريتم المعلمات الثلاثة r_e ، σ_o و $\langle I\rangle_e$. يقل التشتت العمودي في $\log r_e$ للمستوي الأساس في حالة اعتماد المجرات التي لها سرعة تشتت مركزي σ_O اكبر من $100\,km/\sec$ إذ ان معادلة المستوي تصبح بالشكل الاتي $r_e \propto \sigma_0^{1.3} \langle I\rangle_e^{-0.57}$ مع تشتت عمودي مقداره 0.094، بينما لاتتأثر معادلات المستويين في حالة اجراء الحسابات على المجرات الاهيليجية فقط.

وجد Graham (2002) عند دراسته للمستوي الفوتومتري، لعينة من المجرات الاهليجية والعدسية التي تعود إلى عنقود العذراء وعنقود فور نكس، باستخدام نموذج $r^{1/n}$، ان المستوي الفوتومتري يتمثل بالعلاقة الاتية $r_e \propto n^{0.86} \langle I\rangle_e^{-0.57}$، وان التشتت العمودي في r_e هو 1.48، وهذا التشتت يسبب خطأ مقداره 48% في قياس بعد المجرات، أما المستوي الأساسي فيتمثل بالعلاقة الاتية $r_e \propto \sigma_0^{1.11} \langle I\rangle_e^{-0.71}$، وان التشتت العمودي في r_e هو 1.37، وهذا التشتت يسبب خطأ مقداره 37% في قياس بعد المجرات.

ويتضح من خلال مقارنة نتائج هذه الدراسة مع ما توصل إليه Graham (2002) وان هناك اختلافا طفيفا في حساب ميل المستوين والسبب هو ان Graham (2002) اعتمد في دراسته للمستويين منحنيات السطوع السطحي للمسافات القطبية المكافئة بينما اعتمدت الدراسة الحالية على منحنيات السطوع السطحي على طول المحور الرئيسي للمجرات ومن الملاحظ أيضا ان التشتت في المستوي الأساسي اقل مما وجد من قبل Graham (2002)، والسبب يعود إلى القطع الذي تم اعتماده في هذه الدراسة، إذ تم اعتماد قطع داخلي لمنحني النورانية المتأثر بالرؤية، وكذلك الأجزاء الخارجية المتأثرة من سطوع خلفية السماء.

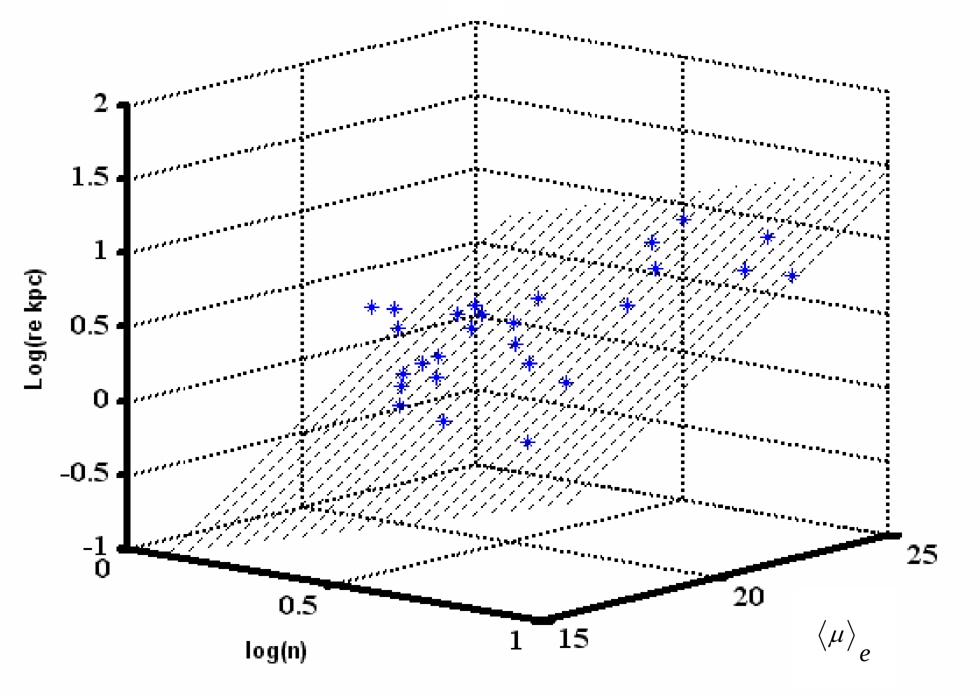
جدول رقم(1)

Galaxy Name NGC/or IC	Type	M_B	n*	μ_e	r_e (arcsec)	Log(r_e)	$\langle\mu\rangle_e$	σ_o** (km/sec)
N4168	E	-19.07	6.65	24.59	75.20	0.82	22.93	186
N4374	E	-21.59	8.39	24.19	151.64	1.13	22.41	293
N4387	E	-18.21	1.83	21.33	13.46	0.07	20.34	112
N4434	E	-18.23	3.84	22.01	13.73	0.08	20.64	122
N4458	E	-18.37	2.55	22.46	18.92	0.22	21.30	101
N4464	E	-17.84	2.42	20.60	7.10	-0.20	19.47	129
N4473	E	-20.24	3.15	22.14	44.71	0.60	20.88	179
N4478	E	-18.94	1.86	20.69	12.63	0.05	19.69	144
N4486	E	-21.82	5.34	23.84	165.27	1.16	22.30	339
N4550	E	-18.53	1.64	21.15	22.52	0.30	20.21	80
N4551	E	-18.23	1.90	21.60	14.74	0.11	20.59	114
N4564	E	-19.25	1.48	21.50	27.11	0.38	20.61	158
N4621	E	-20.98	5.23	23.15	82.91	0.86	21.62	237
N4660	E	-19.16	2.37	20.54	14.04	0.09	19.42	191
I3468	E	-17.67	2.08	23.37	20.89	0.27	22.32	34
N4431	SO	-17.44	1.65	23.30	24.08	0.33	22.36	68
N4459	SO	-20.04	4.84	22.69	46.71	0.62	21.20	172
N4476	SO	-18.26	3.07	22.01	16.29	0.16	20.76	73
N4552	SO	-20.92	10.14	24.01	95.11	0.92	22.13	263
N4649	SO	-21.74	5.02	23.24	120.96	1.03	21.72	343
N4638	SO	-19.13	2.16	19.93	12.59	0.05	18.85	129
N4474	SO	-18.82	1.23	21.72	24.49	0.33	20.92	87
N4452	SO	-18.29	5.37	19.34	9.20	-0.09	17.79	269
N4436	SO	-17.24	1.82	23.08	23.01	0.31	22.09	38
N4415	SO	-17.72	1.74	22.97	18.48	0.21	22.01	41
N4352	SO	-17.79	1.74	22.57	24.11	0.33	21.61	65
I3653	S O	-16.87	1.57	21.37	6.43	-0.25	20.46	49

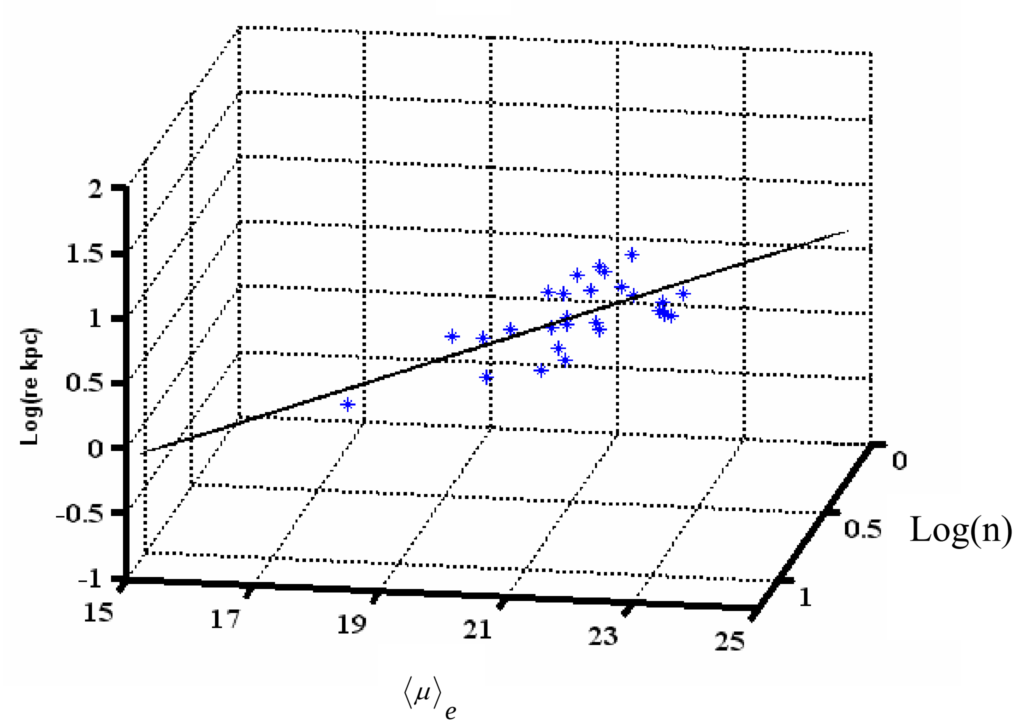
* Caon et al., (1990) & Jorgensen et al., (1992)

** Hypercat http://www.obs.univ-lyon1.fr/hypercat/

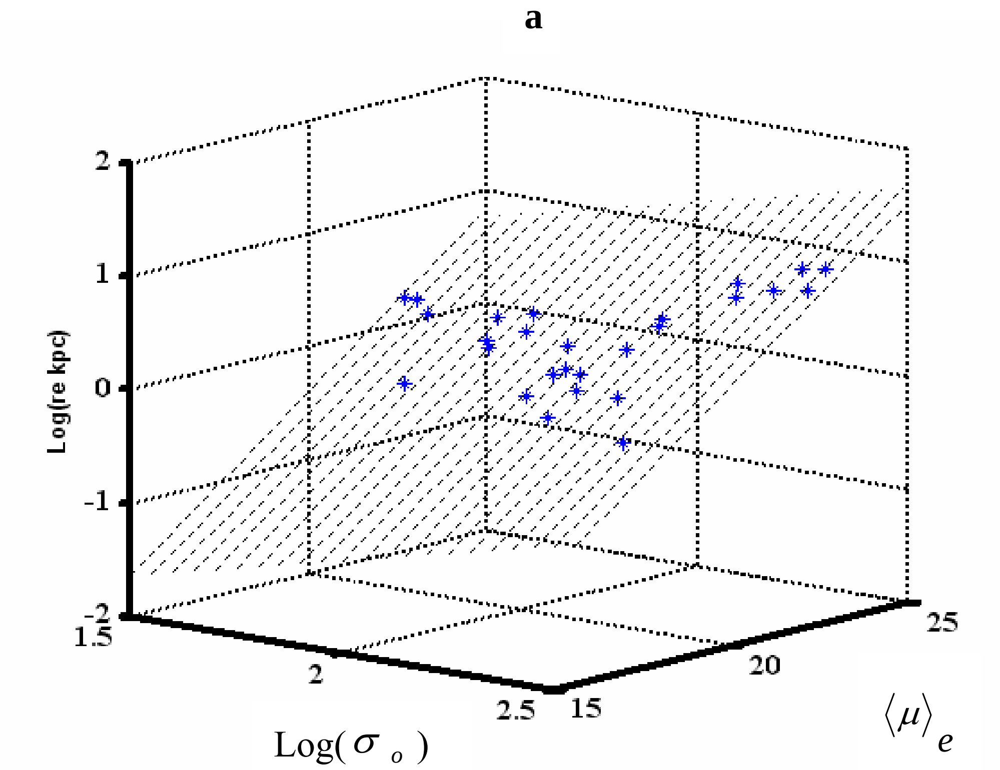
a

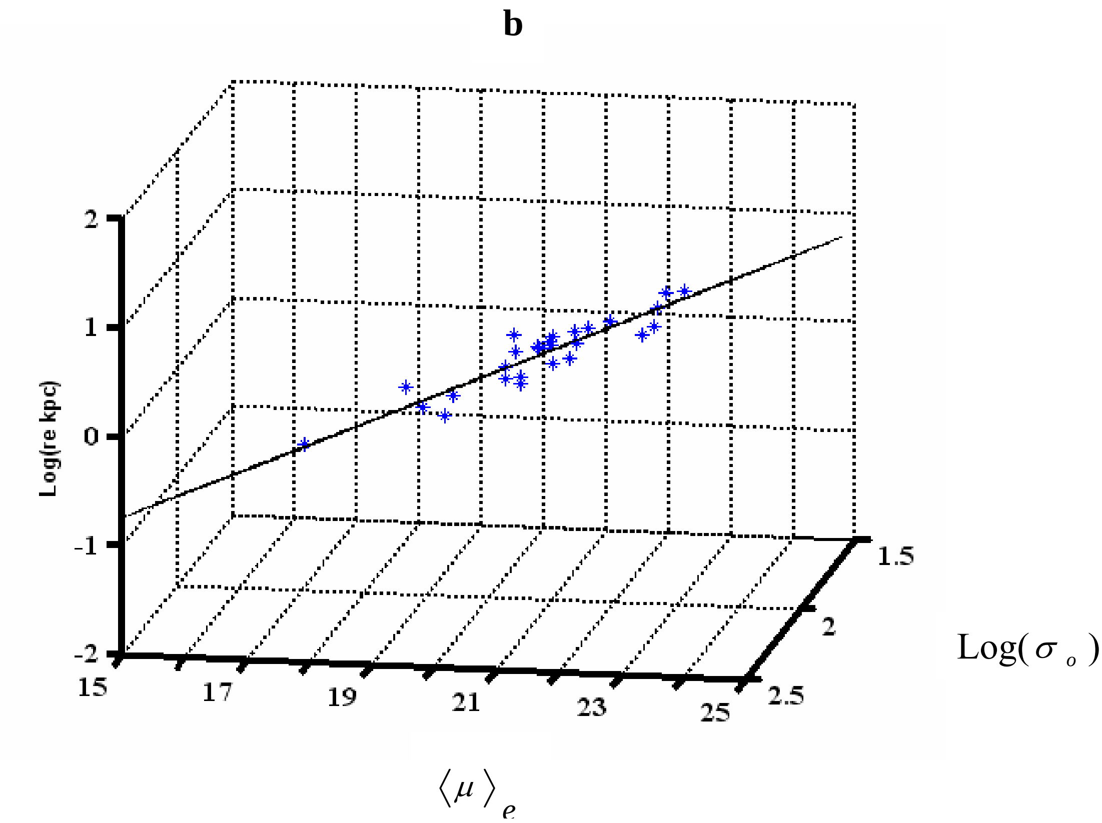


b



الشكل (1) (a) المستوي الفوتومتري للعينة (النجمة تمثل مجرات العينة)
(b) صورة جانبية للمستوي





الشكل) 2 ((a) المستوي الأساسي للعينة (النجمة تمثل مجرات العينة)

(b) صورة جانبية للمستوي

References:

Caon, N., Capaccioli, M., Rampazzo, R., (1990) "Photographic and CCD surface photometry of 33 early-type galaxies in the virgo cluster". Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 86, 429-471.

Capaccioli, M., Caon, N., (1991) "On the lack of a simple relation between R_e and μ_e for early-type galaxies". Mon. Not. R. Astron. Soc., 248, 523-527

Djorgovski, S., Davis, M., (1987) "Fundamental properties of elliptical galaxies". The astrophysical. journal., 313, 59-68.

Faber, S. M., Wegner, G., Burstein, D., Davies, R., Dressler, A., Lynden-Bell, D., Terlevich, R. J., (1989) "Spectroscopy and photometry of elliptical galaxies. VI. Sample selection and data summary". The Astrophys. journal. supplement. Series., 69, 763-808.

Graham, A.W., (1997). "Elliptical Galaxies: Structure, Dynamics and Applications". Ph.D thesis to the Australia National University.

Graham, A.W., (2002) "The Photometric Plane of Elliptical Galaxies". Mon. Not. R. Astron. Soc., 000, 1-6.

Hoessel, J.G., Schneider, D.P., (1985) "CCD observations of Abell clusters. IV - Surface photometry of 175 brightest cluster galaxies". Astronomical. Journal, 90, 1648-1664.

Jorgensen, I., Franx, M., Hjorth, J., van DoKKum, P. G., (1999) " The evolution of cluster E and SO galaxies measured from the fundamental Plane ". Mon. Not. R. Astron. Soc., 308, 833-853.

Jorgensen, I., Franx, M., Kjaergaard, P., (1992). "CCD surface photometry for E and SO galaxies in the Coma Cluster", Astro. & Astrophys. Suppl., 95, 459.

Jorgensen, I., Franx, M., Kjaergaard, P., (1996) " The fundamental Plane for cluster E and SO galaxies ". Mon. Not. R. Astron. Soc., 280, 167-185.

Khosroshahi, H.G., Wadadekar, Y., Kembhavi, A., Mobesher, B., (2000) "A near infrared photometric plane for ellipticals and bulges of spirals". ApJ, 531,L103.

La Barbera, F., Covone, G., Busarello, G., Capaccioli, M., Haines, C.P., Mercurio, A ., Merluzzi, P., (2005) " New insights into the structure of early-type galaxies: the Photometric Plane at z ~ 0.3 "Mon. Not. R. Astron. Soc., 000, 1-35.

Lynden-Bell, D., Faber, S.M., Burstein, Davies, D.R., Terlevich, R.J., Wegner, G., (1988). "Spectroscopy and Photometry of Elliptical galaxies. V. Galaxy Streaming toward the new supergalactic center". Astrophys. Journal, 326, 19L.

Muhsin, N. A., (2005) “ The structural Photometric Parameters for Early-type galaxies Msc thesis to the college of Education, University of Mosul**.**

Sersic, J., (1968) (Cited by Ref. Trujillo et al.,2001)

Trujillo, Graham, A.W., Caon, N., (2001) "On the estimation of galaxy structural parameters : the sersic model". Mon. Not. R. Astron. Soc., 326, 869-876.