بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده منابع طبیعی

تنوع جمعیتی کپوردندان اصفهان (*Aphanius isfahanensis*)

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی- بوم شناسی آبزیان شیلاتی

سعید پناهی

اساتید راهنما

دکتر سالار درافشان

دکتر یزدان کیوانی

پاییز 1393

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده منابع طبیعی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی- بوم شناسی آبزیان شیلاتی آقای

سعید پناهی

تحت عنوان

تنوع جمعیتی کپوردندان اصفهان (*Aphanius isfahanensis*)

در تاریخ 1393/10/27 توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

1. استاد راهنمای پایان نامه — دکتر سالار درافشان
2. استاد راهنمای پایان نامه — دکتر یزدان کیوانی
3. استاد داور — دکتر فاطمه پیکان حیرتی
4. استاد داور — دکتر منصوره ملکیان

سرپرست تحصیلات تکمیلی — دکتر محمدرضا وهابی

تقدیر و تشکر

شکر و سپاس بی نهایت خدای راست که در "اولیت" بی آغاز و در "آخریت" بی انجام است پروردگاری که عقل را آفرید تا بدانیم که همانا او "ان الله بکل شی علیم" است و تعقل کردن را سیر "یخرجون من الظلمات الی النور" قرار داد و از این رو کشف و شناخت بزرش را به هفتاد سال عبادت برتری بخشید. خدای کریمی که در های معرفت ربوبیت و پروردگاری اش را بر ما گشوده و نعمت بزرگ شکر و سپاسگزاریش را به ما الهام کرده است. این بنده کمترین را به دید مرحمت نگریسته و هر لحظه را دریچه ای کرد برای درک آن که بدانم او بی اندازه و بی نهایت است و من کوچک و ناچیز. به اندازه بی نهایت بزرگیت تو را سپاس شایسته است و اما طول زندگانیم برای شکرت اندک. با سپاس و یاد تو آغاز می کنم زیبنده ترین و زیباترین نام هستی.

سپاسگزارم از:

- اساتید راهنمای محترم و عزیزم جناب آقایان دکتر سالار دافشان و دکتر یزدان کیوانی بعنوان اساتید علم و اخلاق در اجرای مراحل مختلف این پایان نا ازهر و تلاشی دریغ ننموده اند.
- سرکار خانوم ها دکتر پیکان حیرتی و دکتر منصوره ملکیان داوران محترم این پایان نا و سایر اساتید و دوستان عزیز گروه شیلات دانشگاه صنعتی اصفهان که در طول تحصیل و تحقیق همواره از دانش آنها بهره مند شده ام.
- جناب آقایان مهندس سعید اسدالله و مهندس محمدرضا کمالو و خانم مهندس الهام [illegible] ی که در انجام این تحقیق؛ کاری فراوانی با ایجا: داشته اند.

در خا .لازم می دانم از کلا .کسانی که به هر نحو من از آغاز تا پایان این تحقیق مرا یاری کرده اند ر ردانی ما م.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این

پایان نامه(رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هفت

فهرست اشکال ..... ده

فهرست جداول ..... دوازده

چکیده 1

فصل اول: **مقدمه**

مقدمه 2

فصل دوم: **کلیات و تعاریف**

2-1-کپوردندان اصفهان 5

2-1-2-سیستماتیک و گونه‌های موجود کپوردندان در ایران 5

2-1-3-زیستگاه کپوردندان اصفهان 6

2-1-4-ویژگی‌های صفات اندازشی و صفات شمارشی کپوردندان اصفهان 6

2-1-5-ارتباط فیلوژنی کپوردندان ماهیان در ایران 7

2-2-روابط طول-وزن و تعیین الگو رشد 9

2-3-مطالعه انعطاف پذیری ویژگی‌های ریختی 9

2-3-1-ریخت‌سنجی هندسی 10

2-3-2-برخی از واژگان وتعاریف در ریخت‌سنجی هندسی 11

2-3-3-فضای شکل کندال 13

2-3-4-قرارگیری پروکراست ها روی همدیگر 14

2-3-5-شبکه‌های تغییر شکل 15

2-3-6-آنالیز های آماری 16

2-4-تنوع ژنتیکی 16

2-4-1-ژنتیک جمعیت 16

2-4-2-تعادل هاردی–واینبرگ 17

2-4-3-عوامل بر هم زننده تعادل 18

2-4-3-1-آمیزش‌های غیر تصادفی 18

2-4-3-3-رانش ژنتیکی 18

2-4-3-4-جریان ژنی 18

2-4-3-5-گزینش 19

2-5-نشانگرهای مولکولی 19

2-5-1-انواع نشانگرهای مولکولی 19

2-5-2-معرفی ریزماهواره‌ها و کاربرد آن‌ها در مطالعات ژنتیک جمعیت‌ها 20

2-6-معرفی مدل پریچارد و مدل های گروه‌بندی نمونه‌ها در نرم‌افزار STRUCTURE 23

2-6-1-مدل بدون اختلاط 26

2-6-2-مدل ترکیبی یا اختلاطی 26
2-6-3-مدل جایگاه متصل 26
2-7-مدل دسته بندی نمونه‌ها با کمک اطلاعات از پیش تعیین شده در رابطه با جمعیت مادری نمونه‌ها 27
2-8-چندشکلی 28
2-9-هتروزایگوسیتی 28
2-10-هتروزایگوسیتی مشاهده شده (H_0) 28
2-11-هتروزایگوسیتی مورد انتظار (H_e) 28
2-12-هتروزایگوسیتی معادل (H) 28
2-12-متغیرهای آماری F 28
2-13-آماره F_{IT} 29
2-14-آماره F_{IS} 29
2-15-آماره F_{ST} 29
2-16- مرور منابع 30
2-16-1-مطالعات ریختی کپوردندان‌ماهی اصفهان 30
2-16-2-مطالعات ریخت‌شناسی روی ریخت‌سنجی هندسی 30
2-16-3 مطالعات صورت گرفته روی ژنتیک جمعیت 33
فصل سوم: مواد و روش‌ها
3-1-جمعیت های مورد بررسی 36
3-2-محل انجام تحقیقات 38
3-4-ریخت سنجی هندسی 38
3-5 استخراج دی.ان.ا 40
3-5-1-طرز تهیه بافر STE 41
3-5-2-طرز تهیه SDS 41
3-5-3-تجهیزات مورد استفاده 41
3-5-4-استخراج دی.ان.ا به روش استات آمونیوم 42
3-6-ارزیابی کیفی دی.ان.ا با روش الکتروفورز ژل آگارز 42
3-6-1-بافر TAE (۱۰ X) 43
3-6-2-روش ارزیابی 43
3-7 واکنش‌های زنجیره‌ای پلیمراز (پی.سی.آر) 44
3-7-1-انجام PCR 44
3-7-2-الکتروفورز محصول پی.سی.آر، با استفاده از ژل پلی اکریل آمید 6% 46
3-7-3-رنگ‌آمیزی ژل پلی‌اکریل‌آمید با نیترات نقره 47
3-8-تجزیه و تحلیل آماری 48
3-8-1-آنالیز تنوع ژنتیکی نمونه‌های کپوردندان اصفهان 48

3-8-2-بررسی تعادل هاردی-واینبرگ 48
3-8-3-بررسی ترکیب تصادفی گامت‌ها و تعادل اتصالی در جایگاه‌ها 48
3-8-4-فراوانی آلل‌ها ، هتروزیگوسیتی مشاهده شده و هتروزیگوسیتی مورد انتظار 49
3-8-5-محاسبه شاخص‌های تمایز جمعیتی (F_{ST} وR_{ST}) 49
3-8-6-بررسی سایر شاخص‌های تفاوت ژنتیکی جمعیت ها 49
3-9-آنالیز واریانس مولکولی 50
3-10-آزمون عضویت ژنوتیپ‌ها در هر جمعیت 50
3-11-گروه‌بندی نمونه‌ها بر اساس مدل پریچارد 51
فصل چهارم: نتایج و بحث
4-1-رابطه طول– وزن 53
4-1-1-رابطه طول– وزن (جنس ماده) 53
4-1-2-رابطه طول – وزن (جنس نر) 54
4-1-3-رابطه طول – وزن (کل جمعیت) 54
4-2-ریخت سنجی هندسی(جمعیت ماده) 57
4-3-ریخت سنجی هندسی(جمعیت نر) 66
4-4-نتایج بررسی کمیت و کیفیت دی.ان.ا استخراج شده 74
4-5-نتایج حاصل از پی.سی.آر 74
4-6- تعداد آلل واقعی (N_a) و مؤثر (N_e) 76
4-6-1-جایگاه Af7 77
4-6-2-جایگاه Af8 78
4-6-3-جایگاه Af18 79
4-6-4-جایگاه Af9 80
4-6-5-جایگاه Af20 81
4-6-6-جایگاه Af20b 82
4-7-فراوانی آللی، هتروزیگوسیتی مشاهده شده، مورد انتظار و تعداد آلل‌های اختصاصی 83
4-8-تعادل هاردی-واینبرگ و عدم پیوستگی ژنوتیپی در بین جایگاه‌ها 85
4-9-محاسبه شاخص‌های تمایز جمعیت (F_{ST} و R_{ST}) 88
4-10-نتایج محاسبه شاخص درون آمیزی (F_{IS}) 89
4-11-گروه‌بندی نمونه‌ها بر اساس روش پریچارد 90
4-12- بحث (ساختار ژنتیک) 93
فصل پنجم: نتیجه‌گیری کلی وپیشنهادها
5-1- نتیجه‌گیری کلی 96
5-2 -پیشنهادها پژوهشی 97
منابع 98

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل 2-1 الف: جنس ماده گونه کپوردندان اصفهان ب: جنس نر کپور دندان اصفهان 6
شکل 2-2 حداکثر احتمال روابط نژادی آفانیوس اصفهان با سایر گونه کپوردندان ماهیان 8
شکل 2-3 فضای شکل کندال 13
شکل 2-4- فضای شکل مثلث با اندازه مرکز (centroid size) 13
شکل2-5 فضای تانژانت و نحوه انتقال از فضای منحنی به فضای تانژانت 14
شکل 2-6: نحوه قرارگیری پروکراست ها 14
شکل2-7 شبکه های تغییر شکل Deformation Grids 15
شکل 2-8 معادله هاردی-واینبرگ 17
شکل2-9 توزیع آلل‌ها در مدل جهش گام به گام 22
شکل2-10 توزیع آلل‌ها در مدل آللی نامحدود 22
شکل3-1 موقعیت جغرافیایی مناطق نمونه برداری 36
شکل3-2 تصاویری از محل های نمونه برداری را نشان می دهد 37
شکل 3-3 دوربین و پایه دوربین کانن 39
شکل3-4 نقاط لندمارک گذاری شده بر روی عکس ماهی 39
شکل 3-5 دستگاه الکتروفورز و دستگاه پی،سی،آر 41
شکل4-1 رابطه طول کل با وزن در کل جمعیت کپور دندان اصفهانی 37
شکل 4-3 همبستگی بین فاصله های اقلیدسی در فضای تانژانت و فاصله ی پروکراست جمعیت ماده 57
شکل 4-4 میزان جابجایی و تغییرات در موقعیت لندمارک ها نسبت به شکل میانگین جمعیت های مورد مطالعه 58
شکل4-5 درصد واریانس های مولفه های اصلی 59
شکل4-6 پراکنش عامل اول و عامل دوم 59
شکل 4-7 مقایسه PC1 وPC2 با میانگین شکل بدن با استفاده از شبکه تغییر شکل 60
شکل4-8 پراکنش عامل اول و عامل دوم 61
شکل 4-9 مقایسه CV1 وCV2 با میانگین شکل بدن با استفاده از شبکه تغییر شکل 62
شکل 4-10مقایسه میانگین شکل بدن جنس ماده دو جمعیت حسن آباد و ورزنه 62
شکل 4-11مقایسه میانگین شکل بدن جنس ماده دو جمعیت مالواجرد و زرین شهر 63
شکل 4-12مقایسه میانگین شکل بدن جنس ماده دو جمعیت ورزنه و زرین شهر 63
شکل 4-13مقایسه میانگین شکل بدن جنس ماده دو جمعیت مالواجرد و ورزنه 63
شکل 4-14مقایسه میانگین شکل بدن جنس ماده دو جمعیت حسن آباد و زرین شهر 64
شکل 4-15 همبستگی بین فاصله‌های اقلیدسی در فضای تانژانت و فاصله‌ی پروکراست جمعیت نر 66
شکل 4-16 میزان جابجایی و تغییرات در موقعیت لندمارک ها نسبت به شکل میانگین جمعیت های مورد مطالعه 66
شکل4-17 درصد واریانس‌های مولفه‌های اصلی 67

شکل4-18 پراکنش عامل اول و عامل دوم 67
شکل 4-19 مقایسه PC1 وPC2 با میانگین شکل بدن با استفاده از شبکه تغییر شکل 68
شکل4-20 پراکنش متغییر اول و متغییر دوم 69
شکل 4-21 مقایسه CV1 وCV2 با میانگین شکل بدن با استفاده از شبکه تغییر شکل 70
شکل 4-22 مقایسه میانگین شکل بدن جنس ماده دو جمعیت حسن آباد با جمعیت مالواجرد 70
شکل 4-23 مقایسه میانگین شکل بدن جنس ماده دو جمعیت ورزنه با جمعیت زرین شهر 71
شکل 4-24 مقایسه میانگین شکل بدن جنس ماده دو جمعیت حسن آباد با جمعیت ورزنه 71
شکل 4-25 مقایسه میانگین شکل بدن جنس ماده دو جمعیت حسن آباد با جمعیت زرین شهر 71
شکل 4-26 مقایسه میانگین شکل بدن جنس ماده دو جمعیت مالواجردبا جمعیت زرین شهر 72
شکل4-27 شدت وضوح باندهای دی.ان.ا بر روی ژل آگارز یک درصد 74
شکل4-28 محصول پی.سی.آر بر روی ژل 6% اکریل آمید 74
شکل 4-29 نتایج حاصل از R_{st} به دست آمده از آنالیز واریانس مولکولی 88
شکل4-30 تصویر حاصل از نرم‌افزار STRUCTURE. 92

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول2-1 سیستماتیک ماهی کپوردندان اصفهان 5
جدول 2-2 گونه های آفانیوس شناسایی شده در ایران 6
جدول 2-3 برخی از واژگان وتعاریف در ریخت سنجی هندسی 12
جدول3-1 موقعیت جغرافیایی مناطق نمونه برداری 37
جدول 3-2 آغازگرهای ریزماهواره مورد استفاده در این تحقیق 44
جدول 3-3 نوع و مقدار مواد استفاده شده در واکنش‌های زنجیره ای پلیمراز 45
جدول3-4 برنامه های استاندارد اجرا شده برای واکنش ریزماهواره 45
جدول4-1 رابطه طول-وزن به تفکیک جمعیت و جنسیت 55
جدول 4-2 مقایسه آنالیزهای چندمتغیره DFA(جنس ماده) 64
جدول 4-3 مقایسه آنالیزهای چندمتغیره DFA(جنس نر) 74
جدول 4-3 نام جایگاه، محدوده باندی، دمای اتصال و تعداد آلل مشاهده شده 75
جدول 4-4 تعداد اللهای واقعی (N_a) و موثر (N_e) 76
جدول4-4 آلل‌ها و اندازه‌های آن بر حسب جفت باز در جایگاه Af7 77
جدول4-5 آلل‌ها و اندازه‌های آن بر حسب جفت باز در جایگاه Af8 78
جدول4-6 آلل‌ها و اندازه‌های آن بر حسب جفت باز در جایگاه Af18 79
جدول4-7 آلل‌ها و اندازه‌های آن بر حسب جفت باز در جایگاه Af9 80
جدول4-8 آلل‌ها و اندازه‌های آن بر حسب جفت باز در جایگاه Af20 81
جدول4-9 آلل‌ها و اندازه‌های آن بر حسب جفت باز در جایگاه Af20b 82
جدول4-10 نتایج حاصل از بررسی وضعیت ژنتیکی 83
جدول 4-11 نتایج بررسی تعادل هاردی-واینبرگ بر اساس هر لوکوس با فرضیه کاهش هتروزیگوسیتی در هر جمعیت 85
جدول 4-12نتایج بررسی پیوستگی ژنوتیپی بین جایگاه‌های مختلف در نمونه‌های حسن آباد و مالواجرد 86
جدول 4-13نتایج بررسی پیوستگی ژنوتیپی بین جایگاه‌های مختلف در نمونه‌های ورزنه و زرین‌شهر 87
جدول4-14 محاسبه شاخص‌های تمایز جمعیتی (F_{ST} و R_{ST}) با استفاده از نرم‌افزار GENEPOP 88
جدول4-15 محاسبه شاخص درون‌آمیزی بر اساس شاخص وایر-کوکرهام با استفاده از نرم‌افزار GENEPOP 89
جدول4-16 محاسبه میزان LnP(D) با فرض تعلق تمامی نمونه‌ها به یک جمعیت 90
جدول 4-17 میزان عضویت هر یک از نمونه¬ها با در نظر گرفتن K=2 توسط نرم افزار STRUCTURE 91

چکیده

تجزیه وتحلیل ویژگی‌های ریختی برای بررسی وضعیت جمعیت‌های کپوردندان اصفهان (*Aphanius isfahanensis*) در اکوسیستم آبی استان اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، تعداد 227 نمونه از 4 ناحیه مختلف حسن آباد، ورزنه، مالواجرد و زرین‌شهر نمونه-برداری شد. برای تشخیص تنوع ریختی از روش ریخت‌سنجی هندسی استفاده شد. رابطه طول-وزن یک فاکتور اصلی در مطالعات شیلاتی است و در مطالعه حال حاضر b بدست آمده در کل جمعیت‌ها بیشتر از(b=3) مورد انتظار بود که نشانگر رشد آلومتریک مثبت است. به واسطه دوشکلی جنسیتی در گونه مورد مطالعه، جنس‌های نر و ماده بطور مجزا با استفاده از آنالیزهای چندمتغیره DFA مورد تحلیل قرارگرفتند. به منظور اجرای مطالعات مولکولی، استخراج دی.ان.ا به روش استات آمونیوم از بافت نرم باله دمی یا قسمتی از بدن انجام گرفت.کیفیت دی.ان.ا استخراج شده به‌وسیله الکتروفورز ژل 1% و رنگ‌آمیزی با اتیدیوم بروماید بررسی شد. واکنش PCR با استفاده از شش آغازگر ریزماهواره در دمای الحاق 61 -53/5 انجام شد. محصولات PCR روی ژل اکریلامید 6% الکتروفورز و به روش نیترات نقره رنگ‌آمیزی شد. در مجموع تمامی آغازگرهای مورد استفاده چندشکلی بالایی نشان دادند. تعداد آلل مشاهده شده در تمامی جایگاه‌ها در گستره 13-3 عدد محاسبه شد. محدوده هتروزایگوسیتی مورد انتظار در حسن آباد0/725-0/892، ورزنه0/662-0/905، مالواجرد0/827-0/891 و زرین شهر0/820-0/887 بود. نتایج آزمون رتبه‌بندی ویلکاکسون نشان داد که بین حسن آباد، ورزنه، مالواجرد و زرین شهر تفاوت معنی‌داری در رابطه با هتروزیگوسیتی مورد انتظار و همچنین هتروزیگوسیتی مشاهده شده وجود ندارد (Z-value= –0.892, p-value = 0.373; Z-value= –0.447, p-value = 0.655). میزان شاخص درون‌آمیزی (F_{IS}) در حسن آباد، ورزنه، مالواجرد و زرین شهر به‌ترتیب 0/234، 0/242، 0/158 و 0/36 به‌دست آمد. تبعیت جایگاه‌های مورد مطالعه از تعادل هاردی- واینبرگ ($P > 0.05$) و همچنین استقلال ژنوتیپ‌ها در بین جایگاه‌ها ($P > 0.05$) سبب شد که امکان استفاده از مدل پریچارد در این مطالعه فراهم باشد. با توجه به متنوع بودن ویژگی‌های محیطی و جدایی جغرافیایی مناطق مورد مطالعه، تنوع‌پذیری صفات ریخت‌شناسی این گونه در این مناطق محتمل به نظر می‌رسد. براساس مشاهدات صورت گرفته در صفات مورد مطالعه، جمعیت‌های ماهی کپوردندان اصفهان را تا حدودی می‌توان از یکدیگر تفکیک کرد. در روش ریخت‌سنجی هندسی با تحلیل متغیرهای کانونی و آنالیز توابع جداکننده تفاوت‌های معنی‌داری در بین مناطق نمونه‌برداری وجود دارد که این تفاوت‌ها می‌تواند جمعیت‌های هر یک از این مناطق را به عنوان یک تاکسون جداگانه معرفی کند. براساس دندوگرام STRUCTURE به دست آمده در این تحقیق می‌توان عنوان نمود که احتمالاً جمعیت مجزایی از کپوردندان اصفهان در مناطق مورد بررسی وجود دارد. دندوگرام STRUCTURE جمعیت‌های مورد بررسی را در دو گروه مجزا طبقه-بندی نمود. بر این اساس سه جمعیت حسن‌آباد، مالواجرد و ورزنه در یک گروه کاملا مشابه قرار گرفته و در گروه دیگر جمعیت زرین-شهر قرار گرفته است وجود این جمعیت‌های متفاوت را می‌توان به ویژگی‌ها جغرافیایی و آب و هوایی متفاوت مناطق مورد بررسی مرتبط دانست.

کلمات کلیدی: ریزماهواره، ساختار ژنتیکی، تمایز ژنتیکی، ژئومتری، آنالیز چند متغییره ، *Cyprinodontidae*

فصل اول

مقدمه

ایران در منطقه‌ای واقع گردیده که ازنظر جغرافیای جانوری بسیار حائز اهمیت است، ولی اطلاعات کمی در مورد فون ماهیان آن وجود دارد. مطالعات انجام شده درباره جوامع ماهیان رودخانه ها نشان می‌دهد، فاکتورهای غیرزیستی از قبیل دما، سرعت جریان آب و نوع بستر رودخانه در پراکنش و فراوانی گونه‌های ماهیان مختلف مؤثر بوده که برغنای گونه‌ای، تنوع گونه‌ای و تولیدات ماهیان نیز در قسمت‌های مختلف مؤثراست[18]. شناسایی، حفظ و نگهداری تنوع زیستی در دنیا و یا در هر منطقه، از اولویت خاصی برخوردارمی‌باشد و مطالعه ماهیان در اکوسیستم-های آبی از نظر تکاملی، بوم‌شناسی، رفتارشناسی، حفاظت و مدیریت منابع آبی، بهره‌برداری از ذخایر و پرورش آنها حائز اهمیت است [36]. اعمال مدیریت صحیح بر ذخایر آبزیان و توسعه آبزی‌پروری زمانی با موفقیت همراه خواهد بود که ذخایر ژنی گونه‌های بومی، موردمطالعه قرار گرفته و اولین گام در این زمینه، تشخیص صحیح گونه‌ها، جمعیت‌ها و یا نژادها می‌باشد که این امر از نظر مدیریت شیلاتی و برنامه‌ریزی‌های حفاظتی گونه‌ها حائز اهمیت است. اعضای یک نژاد یا جمعیت ممکن است بر حسب ظاهر شبیه به هم ولی ازلحاظ ژنتیکی کاملاً با هم متفاوت باشند، متقابلاً برخی از نژادها ممکن است خیلی متفاوت به نظر برسند ولی از لحاظ ژنتیکی نزدیک به یکدیگر باشند[37].کپور دندان، ماهی گورخری یا آفانیوس، ماهی کوچکی است که در قسمت‌های مختلف ایران و جهان پراکنش دارد. گرچه در برخی منابع فارسی نام علمی آن را استفاده می‌کنند، ولی در برخی دیگر کپوردندان یا کپوردندان‌دار به کار می‌رود. به خاطر رنگ‌آمیزی راه‌راه بدن نرها عامه مردمی که با آن آشنایی دارند آن را ماهی گورخری می‌نامند. این جنس متعلق به خانواده کپوردندان‌ماهیان (Cyprinodontidae) از راسته کپوردندان‌ماهی‌شکلان (Cyprinodontiformes) است.

ویژگی‌های ریخت‌شناسی ماهیان در مطالعات زیست‌شناسی آن‌ها به منظور مقایسه گروه‌ها و مطالعات تبارشناسی وغیره مورد استفاده قرار می‌گیرند[112]. برای شناسایی جمعیت‌های مختلف یک گونه، روش‌های متفاوتی وجود دارد که یکی از آنها بررسی صفات اندازشی (مورفومتریک) مثل طول و وزن و صفات شمارشی (مریستیک) می-باشند. بنابراین با مطالعه صفات اندازشی و صفات شمارشی هر یک از ماهیان و به کارگیری روش‌های آماری می‌توان تعدادی از صفات مرفولوژی شاخص یک جمعیت را به دست آورد. تنوع ژنتیکی به‌عنوان پایه‌ای‌ترین اصل در سلسله

مراتب تنوع زیستی نقش مهمی را در بقای موجودات و پایداری اکوسیستم‌ها برعهده دارد. این طبقه از تنـوع در واقـع در برگیرنده جمعیت‌های متمایز از یک گونه و یـا تفـاوت‌هـای ژنتیکـی یـک جمعیـت را نشـان مـی‌دهـدو همچنـین انعطاف‌پذیری ریختی و توانایی موجود زنده برای تغییر فنوتیپ خود در پاسخ به تغییرات محیط زیست می‌باشـد[93]. شکل بدن در انتخاب زیستگاه توسط ماهیان از عوامل مهم تعیین‌کننده می‌باشد، به همـین دلیـل شـکل بـدن عـلاوه بـر نشان دادن ژنتیک فرد می‌تواند نشان‌دهنده ویژگی‌های محیط زندگی ماهی نیز باشد. فرم بدن ماهی شامل انـدازه بـدن و شکل آن می‌باشد. متاسفانه در آبزی‌پروری برای بررسی رشد ماهی فقط اندازه در نظر گرفته می‌شـود، درحـالی‌کـه رشد ماهی یا هرموجود دیگر چندبعدی است. مطالعات متعددی در مورد تاثیر فاکتورهای محیطی بر ریخت ماهیان بر اساس روشهای سنتی انجام شده است ولی این مطالعه بر آن است که تاثیر تغییر شرایط و زیستگاه بر شکل بدن مـاهی کپوردندان اصفهان را با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی به اجرا درآورد. علم ژنتیک یکـی از شـاخه‌هـای علـم زیست شناسی است که به وسیله مفاهیم و قوانین موجود در آن می‌توان بـه تشـابه و عـدم تشـابه دو موجـود نسـبت بـه یکدیگر پی برد، ژنتیک مولکولی بخشی از علم ژنتیک است که به بررسی ساختمان و طـرز کـار عوامـل وراثتـی (ژن ها) در سطح مولکلی مـی‌پـردازد. در حقیقـت مطالعـه خصوصـیات، وظـایف، طـرز کـار و سـیر تحـول در اسـیدهـای نوکلوئیک در قلمرو ژنتیک مولکولی است[54]. همچنین با توجه به حساسیت بالای صفات اندازشی و شمارشی به تغییرات محیطی و زمان بر بودن این مطالعات، امروزه تکنیـک‌هـای متکـی بـرPCR از قبیـل ریزمـاهواره[1]، رپیـد[2] ،آ.اف.ال.پی[3] ،اس.ان.پی[4] جهت بررسی و شناسایی ژنوتیپ گونه‌ها و جمعیت‌های مختلف به کار می‌روند[54،81]. جمعیت‌های وحشی اغلب ارزش حفاظتی قابل ملاحظه‌ای را به سبب سهم منحصـر بـه فردشـان در تنـوع ژنتیکـی دارا هستند، لذا بررسی تنوع زیستی گونه‌ها در مطالعات اکولوژیک اهمیت ویژه‌ای دارد. نشانگرهای مولکـولی در مطالعـه ژنتیک جمعیت، جهت ارزیابی اثر فاکتورهای مختلف روی تنوع ژنتیکی و ساختار جمعیت مفید است. به ایـن منظـور می توان از نشانگرهای متفاوتی نظیر ریز ماهواره‌هـا و تـوالی‌یـابی ژنـوم میتوکنـدری بهـره بـرد[83]. ردیـف‌هـای ریـز ماهواره‌ای غیر پایدار هستند و با کاهش یا افزایش واحدهای تکرار شونده دچار تغییـرات فـراوان در طـول مـی‌شـوند. تنوع در تعداد تکرار ریز ماهواره‌ها که به کمک واکنش زنجیره‌ای پلیمراز و الکتروفـروز قابـل آشکارسـازی هسـتند، موجب شده است که از ریز ماهواره‌ها به عنوان ابزار مولکولی با پتانسـیل بسـیار زیـاد بـرای تشـخیص‌هـای ژنـومی در آزمایشگاه ها استفاده شود[82]. ریزماهواره ها در شیلات و آبزی پروری برای توصـیف ذخـایر ژنتیکـی، انتخـاب ذخایر مولدین، شناسایی ژن‌های کدگذاری‌کننده صفات مهم اقتصادی، برنامه‌های تولیـد مثلـی، مطالعـات سـاختار جمعیتی، تفکیک نژادهای پرورشی از طبیعی، ارزیابی رابطه ژنتیکی والدین با فرزندان، مدیریت ژنتیکـی والـدین، ماده‌زایی، پلی‌پلوئیدی و دورگه‌ها و همچنین ارزیابی روند تکاملی کارایی بالایی دارند[91]. بـه طـورکلی مـدیریت تنوع ژنتیکی در موجودات نیازمند ارزیابی ساختار ژنتیکی و تفکیـک ذخـایر گونـه مـوردنظر اسـت. بنـابراین، جهـت تحقق اهداف مدیریتی، مطالعات مولکولی جمعیت روی ماهیان انجام می‌گیرد. یک حوضه آبریز ممکن اسـت دارای

1Microsatellite
2RAPD
3AFLP
4SNP

چندین جمعیت از یک گونه باشد و برای شناسایی جمعیت‌های مختلف یک گونه روش‌های متفاوتی وجود دارد که یکی از آنها بررسی صفات ریخت‌سنجی می‌باشد. با مطالعه‌ی صفات و به کارگیری روش‌های آماری می‌توان تعدادی از صفات مورفولوژیکی شاخص جمعیت را به دست آورد. تجزیه به مؤلفه اصلی[1] یک روش عینی برای یافتن شاخص‌هایی است که می‌تواند تغییرات داده‌ها را در صورت امکان به طور خلاصه در چند مولفه اصلی بیان نماید. این روش هیچ تابع توزیع احتمالی برای مشاهدات در نظر نمی‌گیرد و یک روش آماری نبوده و صرفاً جهت بیان شکل ساده‌ای از داده‌ها کاربرد دارد[81]. صفات مورفولوژیک اطلاعاتی در خصوص آشیان اکولوژیکی ماهیان، چگونگی پراکنش گونه‌ها، و الگوهای تغذیه‌ای آنها فراهم می‌آورد[116]. صفات ریخت‌شناسی تخصصی‌تر نیز امکان استفاده کارآمدتر از منابع موجود را فراهم می‌آورد. به طورکلی، صفات ریخت‌شناسی از گذشته تا به امروز به عنوان عاملی کلیدی در شناسایی زیستگاه‌های ماهیان به کار رفته است[91]. اندازه‌گیری‌های ریخت‌سنجی شامل هر اندازه‌گیری استانداردی است که بتوان روی ماهی انجام داد. از آنجا که این اندازه‌گیری‌ها با رشد ماهی تغییر می‌کنند، معمولاً آنها را به صورت نسبت‌هایی ازطول استاندارد بیان می‌کنند[65]. اندازه‌گیری شمارشی معمولاً از قابل اعتمادترین ویژگی‌های تاکسونومیک محسوب می‌شود. ویژگی‌های شمارشی شامل ویژگی‌هایی هستند که می‌توان روی ماهی شمارش کرد، از جمله تعداد مهره‌ها، تعداد شعاع‌ها،ردیفهای فلس‌ها و منافذ خط جانبی[82].

1-2-**اهداف و فرضیات تحقیق**:

هدف از این تحقیق ارزیابی تنوع ژنتیکی و مورفولوژیکی جمعیت و ساختار ژنتیکی کپوردندان اصفهان با استفاده از نشانگرهای ریز ماهواره و ریخت سنجی هندسی در چهار ناحیه مختلف استان اصفهان شامل ورزنه، مالواجرد، حسن آباد و زرین شهر است. در این بررسی تفاوت ژنتیکی و مورفولوژیکی در میان جمعیت‌های نام برده شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و وجود قرابت ژنتیکی بین افراد این گونه در هر کدام از ناحیه ها با هم مورد سنجش قرار می‌گیرد. این مطالعه اطلاعاتی در زمینه ژنتیک این گونه فراهم می‌کند، چنین اطلاعاتی به دلیل درک ساختارهای اکوسیستم و کارکرد و سیر تحول آن می‌تواند برای اهداف مدیریتی حفظ ذخایر این گونه، حفظ تنوع زیستی اکوسیستم آبی و نهایتاً حفظ تعادل اکولوژیکی اکوسیستم آبی در این مناطق مورد استفاده قرار گیرد.

همچنین فرضیه‌های زیر مورد بررسی می‌گیرد:

- براساس داده‌های حاصل از نشانگر ریزماهواره و ریخت‌سنجی هندسی جمعیت‌های متفاوتی از کپور دندان اصفهان در چهار ناحیه مختلف استان اصفهان شامل ورزنه، مالواجرد، حسن آباد و زرین شهر وجود دارد.
- تنوع ژنتیکی مناسبی درون جمعیت‌های مختلف کپوردندان اصفهان وجود دارد.
- تفاوت ژنتیکی بارزی در بین جمعیت‌های مختلف کپوردندان اصفهان وجود دارد.

1PCA

فصل دوم
کلیات و بررسی منابع

2-1-کپوردندان اصفهان

جنس کپوردندان، ماهی گورخری یا آفانیوس، ماهی کوچکی است که در قسمت‌های مختلف ایران و جهان پراکنش دارد. به خاطر رنگ‌آمیزی راه راه بدن نرها عامه مردمی که با آن آشنایی دارند آن را ماهی گورخری می نامند، پراکنش این جنس شامل ناحیه ساحلی دریای مدیترانه و شبه جزیره گیر[1] در شمال شرقی هند تا شمال شرقی سومالی شامل دریای سرخ و خلیج فارس و پراکنش آن بیشترمعطوف به ترکیه و ایران است، پراکنش و تاکسنومی آفانیوس در آناتولیا[2] موضوع چندین مطالعه قرار گرفته است. کپوردندان‌ماهیان (Cyprinodontidae) ماهی‌های کوچکی هستند که از نظر پرورش در آبزی‌دان مورد توجه هستند. ماهی‌های تخم‌گذاری هستند که عموماً از سطح آب و از لارو حشرات تغذیه می‌کند به همین خاطر پیشنهادهایی برای استفاده از آنها در کنترل لارو پشه‌ها داده شده است که از این نظر نیز حائز اهمیت می‌باشد و می تواند جایگزینی برای ماهی غیر بومی گامبوزیا[3] باشند [61،60،13].

2-1-2-سیستماتیک و گونه‌های موجود کپوردندان در ایران

سیستماتیک این ماهی در جدول 2-1 به اختصار توضیح داده شده است.

جدول2-1 سیستماتیک ماهی کپوردندان اصفهان [83].

Class	osteichthyes	رده ماهیان استخوانی
Subclass	Actinopterygii	زیر رده شعاع بالگان
Superorder	Teleostei	ابر راسته تلئوست
Order	Cyprinodontiformes	راسته کپور دندان ماهی شکلان
Family	Cyprinodontidae Pupfishes	خانواده کپور ماهی دنداندار
Genus	Aphanius	جنس کپوردندان
species	*Aphanius isfahanensis*	گونه کپوردندان اصفهان

1Gir Peninsula
2Anatolia
3Gambusia

شکل 2-1: الف جنس ماده گونه کپوردندان اصفهان ب: جنس نر کپور دندان اصفهان [61]

اسم فارسی	اسم علمی
کپوردندان اراک	*Aphanius arakensis* (Teimori, Esmaeili, Gholami, Zarei & Reichenbacher, 2012)
کپور دندان داراب	*Aphanius darabensis* (Esmaeili, Teimori, Gholami & Reichenbacher, 2014)
کپوردندان جنوب	*Aphanius dispar dispar* (Rüppell, 1829)
کپوردندان فارس	*Aphanius farsicus* (Teimori, Esmaeili & Reichenbacher, 2011)
کپوردندان اصفهان	*Aphanius isfahanensis* (Hrbek, Keivany & Coad, 2006)
کپور دندان کویری	*Aphanius kavirensis* (Esmaeili, Teimori, Gholami & Reichenbacher, 2014)
کپوردندان منتو یا اروند	*Aphanius mento* (Heckel, 1843)
کپوردندان صوفی	*Aphanius sophiae* (Heckel, 1847)
کپور دندان زاگرس	*Aphanius vladykovi* (Coad, 1988)
کپوردندان مند	*Aphanius pluristriatus* (Jenkins, 1910)
کپوردندان گنو	*Aphanius ginaonis* (Holly, 1929)
کپوردندان شیرینی (کر)	*Aphanius shirini* (Gholami, Esmaeili, Erpenbeck & Reichenbacher, 2014)
کپوردندان بین النهرین	*Aphanius mesopotamicus* (Coad, 2009)

جدول 2-2 گونه های آفانیوس شناسایی شده در ایران

درکشور ایرن در حدود 14گونه کپوردندان شناسایی شده است که اسامی این گونه ها درجدول 2-2 آمده است.

2-1-3-زیستگاه کپوردندان اصفهان

پراکنش این گونه به حوضه زاینده‌رود محدود است. زیستگاه اختصاصی شامل آب جاری با جریان کند و پوشیده از گیاهان آبزی متراکم که ماهی به وسیله این گیاهان استتار می‌کند. این گونه با *Gambusia holbrooki* که گونه معرفی شده است از لحاظ زیستگاه هم‌پوشانی دارند و از لارو حشرات روی گیاهان و همزیست با جلبک‌ها تغذیه می‌کنند بیشینه طول کل در حدود 45 میلی متر است. تخم‌ریزی معمولاً از فروردین تا تیر رخ می‌دهد . در دمای آب(25-30)سانتی گراد، pH (6/7 تا 7/3) ودر آب‌های لب شور و اکسیژن بالای 7 زندگی می کنند[61].

2-1-4-ویژگی‌های صفات اندازشی و صفات شمارشی کپوردندان اصفهان

نرهای کپوردندان اصفهان را با داشتن لبه‌های سیاه رنگ روی باله‌های پشتی و مخرجی و شکمی از تمام گونه‌های دیگر موجود در ایران می‌توان شناسایی کرد و باله پشتی دارای خال‌های سیاه با غلظت بسیار فراوان، اگرچه این

الگوی رنگی در نرهای *A. anatoliae* نیز دیده می‌شود. نوارهای رنگی از پشت سر تا دم گسترش یافته و نوارهای جلویی در ناحیه شکم و نوارهای عقبی در ناحیه ساقه دمی محو می‌شوند. در ناحیه پشت سر، سر سیاه رنگ و تنه رنگی روشن تر با ملانوفورهای رنگی شده است. اطراف سر بطور نا مرتب با ملانوفور رنگی شده است. در بیشتر نمونه‌ها قسمت چانه رنگی تیره‌تر دارد. همچنین ماده‌های آفانیوس اصفهانی را بوسیله وفور بیشتر نوارهای رنگی نسبت به نقطه و خال از ماده‌های *A. sophiae* و *A. vladykovi* را می‌توان تشخیص داد. این گونه دارای 13 شعاع آبششی، 28 فلس روی خط جانبی، 11 مهره پیش دمی، 17 مهره دمی، 16 شعاع باله شکمی، 6 شعاع باله سینه‌ای، 13 شعاع باله پشتی، 12 شعاع باله مخرجی، 11 عدد نوار رنگی روی بدن می‌باشد[66].

2-1-5-ارتباط فیلوژنی کپوردندان ماهیان در ایران

جنس آفانیوس به دو شاخه[1] اصلی که شامل شاخه شرقی وکلاد غربی است تقسیم می شود (شکل 2-2). شاخه غربی شاخه اصلی است که در کمربند کوهزایی از آناتولی[2] مرکزی ترکیه تا جنوب ایران است. این شاخه همچنین شامل گونه های لب شور مدیترانه *A. fasciatus* است. گروه ایرانی مونوفلیتیک[3] است و خواهر گروه با گونه‌های *A. asquamatus* و *A. fasciatus* و مجموعه‌ای از گونه‌های *A. anatoliae* آناتولی مرکزی است[61].

1Clade

2The orogenic belt from central Anatolia

3Monophyletic

2-2-روابط طول-وزن و تعیین الگو رشد

مطالعات مربوط به روابط طول-وزن از طریق تبدیل رشد طولی و وزنی به یکدیگر با کمک مشاهدات طولی کاربرد-های متعددی در ارزیابی ذخایر داشته و همچنین با مقایسه ریخت و نحوه رشد جمعیت‌های مختلف، در برنامه‌های نظارت و مدیریت زیست محیطی نقش مهمی را ایفا می‌کند[117]. حفظ و بازسازی ذخایر طبیعی ماهیان و میزان بهره‌برداری بدون آسیب رساندن به آنها، نیازمند افزایش دانش پایه روی ساختار سنی و رشد جمعیت ها است[24]. برخلاف تصور عمومی مبنی بر سهولت دستیابی به این رابطه، تنها برای 3254 گونه از حدود 31600 گونه ماهی شناخته شده گزارش شده است[51]. در این تحقیق سعی شده است تا با بررسی مقادیر این رابطه در هریک از جمعیت هایی از گونه کپوردندان به بررسی میزان تأثیر زیستگاه پرداخته شود. از سوی دیگر با توجه به اختلافات ریختی و فیزیولوژیک موجود در جنس‌های مختلف، نقش عامل جنسیت نیز با مقایسه بین افراد نر و ماده ارزیابی شود تا برآورد دقیق‌تری برای مقادیر رابطه طول-وزن انجام شود. رابطه طول-وزن شاخصی جهت محاسبه ضریب وضعیت، نرخ رشد و ساختارهای سنی است. این شاخص از جمله روابطی است که مشخص کننده وضعیت ذخایر آبزیان در منابع آبی مختلف می‌باشد[55،107،10].

2-3-مطالعه انعطاف پذیری ویژگی‌های ریختی

مطالعه انعطاف پذیری ویژگی‌های ریختی جمعیت‌های یک گونه که در محیط‌های متفاوت از نظر خصوصیات زیستگاهی زندگی می‌کنند، امکان درک بهتر تغییرات در ویژگی‌های جمعیتی را در مقابل تغییرات محیطی فراهم می‌نماید. تنوع ریختی ممکن است نتیجه انعطاف پذیری ریختی، سازگاری‌های منطقه‌ای تغییرات خصوصیات اکولوژیکی، عوامل زیستی و یا رابطه متقابل هر یک از این فرآیندها باشد بنابراین تکامل جمعیت‌ها باعث ایجاد سازگاری آن‌ها به شرایط زیستی در مناطق مختلف شده که این امر خود می‌تواند دلیل بوجود آمدن اختلافات ریخت شناختی و ژنتیکی بین جمعیت‌ها و همچنین بین گونه‌های ماهیان باشد[31،98]. آنالیز شکل، بخشی اساسی از تحقیقات زیست‌شناسی و بهترین روش برای پیش‌بینی فیلوژنی است، به این علت که داده‌های ژئومتری[1] یک توصیف غنی از شکل مورفولوژیکی بیان می‌کند. شکل یک موجود شباهت به مراتب بیشتری بر ژنتیک دارد ولی اندازه ممکن است در نتیجه شرایط محیطی تغییر پذیری داشته باشد. روش ریخت‌سنجی هندسی، یک ابزار جدید و قدرتمندی را برای بررسی فرم‌های زیستی و مطالعات انعطاف پذیری ریختی می باشد. در این روش تعدادی نقاط همولوگ به نام لندمارک روی شکل نمونه تعیین و سپس تغییرات مختصات فضایی این نقاط به عنوان بازتابی از تغییرات شکلی در بین موجودات بررسی و مقایسه می‌گردد تکنیک‌های ریخت سنجی به دو روش الف) ریخت سنجی سنتی[2] که روشی برپایه تحلیل‌های آماری فواصل اندازه گیری شده برروی ساختار زیستی از قبیل طول، عرض، عمق و گاهی اوقات نسبت‌ها و زاویه‌ها و ب) ریخت‌سنجی هندسی[3] به مجموعه‌ای از روش‌ها که از داده-هایی مانند لندمارک‌ها، منحنی‌های خط سیر پیرامونی و نیمه لندمارک‌ها برای گرفتن اطلاعات هندسی از ساختارهای زیستی استفاده می‌کند، تقسیم می شوند[67،101]. از دیدگاه کلی، موضوع ریخت‌سنجی هندسی مجموعه‌ای از مختصات کارتزین x,y,z است. برای مثال اگر تفاوت میانگین بین جنس‌ها و گونه ها مد نظر است برای هر گروه یک آرایش فضایی مجموع قابل محاسبه است و سپس این آرایش فضایی مجموع در یک سری داده جدید قرار می-

1Geometry

2Traditional morphometric

3Geometric morphometric

گیرند و این آرایش‌های فضایی مجموع خواهند بود که با هم مقایسه می‌گردند[90،99]. آنالیزهای ژئومتریک مورفومتریک همچنین نشان‌دهنده یک مزیت دیگر بر روش‌های مورفومتریک سنتی است به طوری که جنبه ژئومتریک داده‌ها در طول تمام آنالیز حفظ می‌شود ، اجازه می‌دهد که نواحی از یک موجود که تحت فشار قرار می گیرد همراه با میزان درصد تغییر شناسایی شوند. آنالیز ژنومتریک مورفومتریک همچنین اجازه می‌دهد که شکل‌های گرافیکی و تغییرات ایجاد شده در شکل‌ها مشخص شود[104].

2-3-1-ریخت‌سنجی هندسی

ریخت‌سنجی[1] یا اندازه گیری شکل، یک زیررشته با تاریخچه طولانی از رشته آمار است. برای مثال فرانسیس گالتون[2] در سال 1988 ضریب‌همبستگی[3] را معرفی وآن را در اندازه‌گیری‌های مختلف مورفولوژیکی بر روی انسان بکار برد. در سال 1907 او یک روشی برای کمی کردن شکل صورت ابداع کرد که بعداً مختصات شکل دو نقطه-ای[4] و یا مختصات شکل بوکستین[5] نامیدند. استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، که اساسا در نیمه اول قرن 20 توسعه یافته بود، به مرفومتریک به اصطلاح چندمتغیره منجر شده است. اما در 1980ریخت‌سنجی، یک انقلاب بزرگ را پیش رو داشت و آن هم ابداع روش مبتنی بر مختصات[6]، کشف نظریه آماری شکل و تحقق محاسباتی شبکه‌های تغییر شکل[7] است[33،19،86،98]. نرم افزارهای فراگیر رایانه‌های شخصی در عصر جدید تجزیه و تحلیل داده‌هارا آسان تر و اجازه اکتشاف و تصویر سازی مجموعه داده‌های بزرگ با بعد زیاد[8] همراه با آزمون‌های آماری دقیق بر اساس روش های نمونه گیری را فراهم می کند. روش جدید ریخت‌سنجی، ریخت‌سنجی هندسی[9] نامیده شده است. ریخت سنجی هندسی پیکربندی لندمارک‌ها[10] را در سراسر تجزیه و تحلیل حفظ می کند و در نتیجه نتایج آماری به شکل واقعی نمایش داده می‌شوند . در میان چندین روش هندسی در ریخت‌سنجی ، روش پروکراست[11] گسترده ترین و بهترین قابلیت درک را در ویژگی‌های ریاضی و آماری دارد[42،32]. سایر روش‌های مورفومتریک که اغلب استفاده می شود تجزیه و تحلیل ماتریس فاصله اقلیدسی[12]، تجزیه و تحلیل فوریه بیضوی[13] و روش های بی نشانی مانند ریخت سنجی مبتنی بر وکسل[14] است که به طور عمده در تصویربرداری از مغز استفاده می‌شود[21،72]. ریخت سنجی هندسی براساس مختصات لندمارک هاست، لندمارک‌ها به عنوان جایگاه هایی که نام دارند مانند برآمدگی بینی، نوک چانه به خوبی مختصات دکارت[15] تعریف می شوند. لندمارک نه تنها مکان خاص خود را دارد همچنین دارای همان مکان در شکل نمونه های دیگر و به طور متوسط در همه اشکال همان نقطه یک لندمارک یکسان است.

1Morphometrics
2Frances Galton
3Correlation coefficient
4Two-point shape coordinates
5Bookstein-shape coordinates
6Coordinate-based methods
7Deformation grids
8Large high-dimensional
9Geometric morphometrics
10Landmark
11Procrustes
12Euclidian distance matrix analysis
13Elliptic Fourier analysis
14Voxel-based morphometry
15 Cartesian coordinates