

ساخت و تحلیل فهرست ستاره‌ای از کهکشان M۳۳

نجمه گلابتونی^۱، محمد تقی میرترابی^{۲،۳}، عاطفه جوادی^۳، حبیب خسروشاهی^۳ و حسین حکیمی پژوه^۲

۱. گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پیامبر اعظم (ع)

۲. گروه فیزیک، دانشگاه الزهرا (س)

۳. پژوهشکده نجوم، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی

(دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۵/۱۳؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۲/۲/۱۶)

چکیده

در این مقاله ۱۲۰۰ تصویر و فهرست ستاره‌ای که از کهکشان M۳۳ به کمک دوربین WFCAM تلسکوپ UKIRT در فیلترهای H و K گرفته شده‌اند جمع آوری شده است. به کمک روش تطابق فهرست‌ها، ستاره‌های یکسان در لبه‌های تصویر و در تصاویری که در زمان‌های مختلف از یک ناحیه گرفته شده بودند مشخص شدند. مکان و قدر ستاره‌ها با نقشه‌برداری فرسرخ 2MASS کالیبره شد. فهرست نهایی به دست آمده شامل ۴۴۵۳۰۳ ستاره است و بیش از ۷۵٪ درجه مربع از آسمان به مرکزیت هسته کهکشان M۳۳ را می‌پوشاند و شامل دوکوهه و بازوهای کهکشان است. این بزرگ‌ترین فهرست ستاره‌ای است که تا کنون از کهکشانی مارپیچی نزدیک به خورشید تهیه شده است. منحنی قدر رنگ کهکشان M۳۳ در فرسرخ نزدیک رسم شد که در آن گروهی از ستاره‌های بسیار سرخ دیده می‌شوند که تا رنگ $J-K=4$ کشیده شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: کهکشان M۳۳، فهرست ستاره‌ای، همبستگی، نورسنجی

۱. مقدمه

کهکشان‌های مارپیچی به دست آوریم. این کهکشان هرچند نزدیک‌ترین کهکشان به ما نیست، اما نسبت به کهکشان راه‌شیری و آندرومدا، که در گروه محلی قرار گرفته‌اند، گزینه مناسب‌تری به شمار می‌آید. در مورد کهکشان راه‌شیری خاموشی بسیار بالا در بخش‌های مرکزی کهکشان این بخش‌ها را کاملاً ناپیدا می‌کند و زاویه تمایل کهکشان آندرومدا مانع از آن می‌شود که قرص این کهکشان به خوبی دیده شود در حالی که زاویه تمایل صفحه کهکشان مثلث که حدود ۵۶ تا ۵۷ درجه است، باعث می‌شود قرص این کهکشان به خوبی از روی زمین قابل مشاهده باشد.

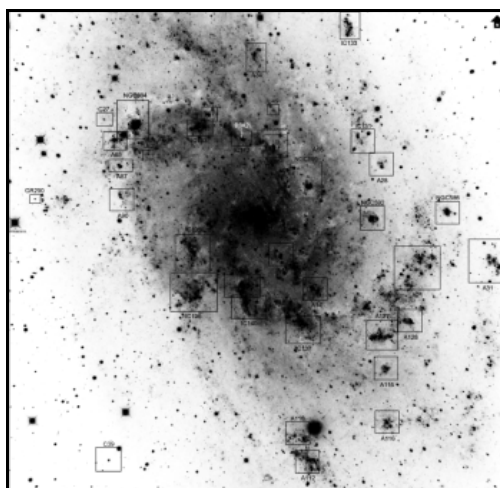
کهکشان‌های مارپیچی جزء پرجم‌ترین کهکشان‌ها در کیهان هستند. این کهکشان‌ها از سه بخش اصلی تشکیل شده‌اند، یک قرص چرخان که از چند بازو تشکیل شده است. دو، مرکز کهکشان که یک برآمدگی غده مانند است که به آن دوکوهه می‌گوییم و غالباً از ستاره‌های پیر تشکیل شده است. سه، هاله کهکشان که خوشه‌های کروی زیادی در این بخش قرار گرفته‌اند. کهکشان مارپیچی M۳۳ (مثلث) فرصت خوبی را در اختیار ما قرار می‌دهد تا اطلاعات زیادی درباره ساختار و تحول

جدول ۱. مشخصات کهکشان مثلث.

بعد ^۲	1 ^h 33 ^m 50 ^s
میل ^۳	30° 39,612'
فاصله	3000 kly
روشنایی ظاهری	5,7 mag
ابعاد ظاهری	73×45 arc min
زاویه تمایل صفحه کهکشان ^۴	56° ± 1°

ناپایداری دارند و به متغیرهای بلند دوره نیز معروفند. این ستاره‌ها با بازه جرمی $0.8M_{\odot} < M < 8M_{\odot}$ دو طیف ستاره‌های کم جرم و پر جرم را در برمی‌گیرد. شاخهٔ مجانبی غول‌ها، ستاره‌هایی از سن 30 Myr تا 10 Gyr و درخشندگی در حدود $10^4 L_{\odot}$ را در برمی‌گیرد، دمای مؤثر پایین این ستاره‌ها ($T_{\text{eff}} < 4000 \text{ K}$) رصد این ستاره‌ها را در فرکانس‌های فرورسرخ نزدیک که بهترین فرکانس برای فرار از اثر خاموشی است، ممکن کرده است. طیف گستردهٔ ستاره‌ها، امکان رصد در طول موج‌های مناسب ستاره‌های AGB را به عاملی برای بررسی تحول کهکشان تبدیل کرده است [۵ و ۶].

در این مقاله که شروع کار بررسی تاریخچهٔ ستاره‌زایی و تحول کهکشان $M33$ ، به دست آوردن رابطهٔ توزیع ستاره‌های کهکشان با ساختار کهکشان و بخش‌های مختلف مرکزی یا دوکوهه، قرص و بازوهای مارپیچی است، سعی شده است که با استفاده از داده‌های حاصل از تصویربرداری به کمک دوربین میدان عریض WFCAM، فهرست ستاره‌ای جامع و دقیقی به دست آوریم. این دوربین با میدان دیدی در حدود یک درجه، تمام قرص کهکشان را می‌پوشاند و امکان بررسی بازوها و ساختار کهکشان را فراهم می‌کند. تصویربرداری در سه فیلتر J، H و K به مدت دو سال و در ۲۳ شب رصدی انجام شده است. این مدت زمان مناسبی برای تشخیص متغیرهای بلند دوره است. نتایج بررسی بخش‌های مرکزی کهکشان در [۴] و [۵] منتشر شده‌اند. در این مقاله‌ها تصاویری که در مدت ۲ سال



شکل ۱. کهکشان مثلث (تصویر از: Aladin Sky Atlas).

کهکشان راه شیری در مقایسه با $M33$ بسیار بزرگ‌تر است، این کهکشان چیزی در حدود ۲۰۰ میلیارد ستاره را در خود جای داده در حالی که $M33$ تنها ۳۰ تا ۴۰ میلیارد ستاره دارد. تصویر کهکشان $M33$ در شکل ۱ و سایر مشخصات این کهکشان در جدول ۱ آمده است [۱ و ۲].

این کهکشان در حدود یک درجه از آسمان را می‌پوشاند. ماژول فاصله برای کهکشان $M33$ به کمک ابرغول‌های پر جرم آبی $\mu = 24.93 \pm 0.11$ محاسبه شده است. بر این مبنا فاصلهٔ کهکشان $M33$ در حدود ۹۶۰ کیلو پارسک تخمین زده می‌شود [۳ و ۴].

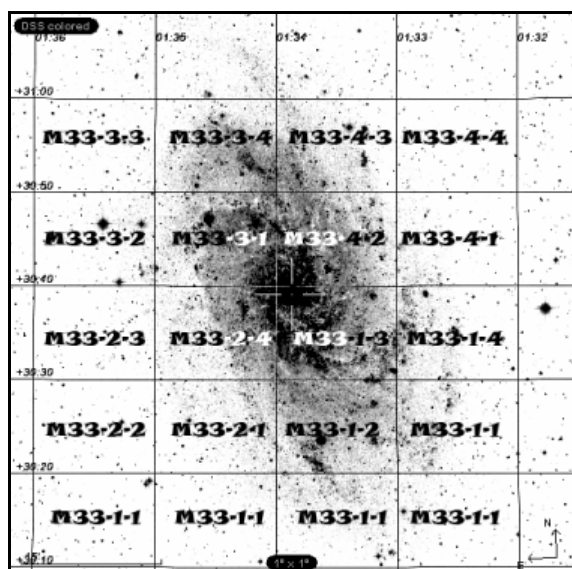
تحول کهکشان‌ها در مراحل نهایی تحول ستاره‌ها به سرعت انجام می‌شود، چرا که جرم از دست رفته این ستاره‌های متحول به محیط بین ستاره‌ای وارد می‌شود. در آخرین مراحل تحول، ستاره‌ها به درخشان‌ترین و سردترین حالت خود در مسیر تحول می‌رسند. بنابراین بیشینهٔ تابش این ستاره‌ها در فرکانس‌های فرورسرخ است. بیشتر نور فرورسرخ نزدیک کهکشان‌ها را ابر غول‌ها، غول‌های سرخ و ستاره‌های AGB^۱ تولید می‌کنند. در این طول موج می‌توانیم به اعماق کهکشان نگاه کنیم چرا که میزان خاموشی در فرکانس‌های فرورسرخ بسیار کمتر است. ستاره‌های AGB یا همان شاخهٔ مجانبی غول‌ها ستاره‌های تحول یافته‌ای هستند که هستهٔ کربنی تشکیل داده و از شاخهٔ غول‌ها جدا شده‌اند. این ستاره‌ها مانند غول‌ها به دلیل انبساط پوسته جو بسیار

۲. Right ascension

۳. Declination

۴. Inclination

۱. Asymptotic Giant Branch

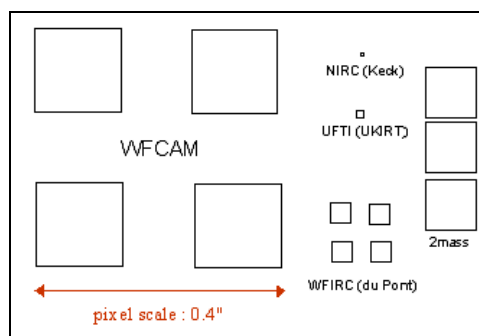


شکل ۳. تصویری از نحوه قرارگیری دوربین WFCAM برای تصویربرداری از تمام قرص کهکشان M۳۳.

می‌پوشانند. این چهار بخش مجزا در نهایت محدوده‌ای به وسعت 0.75° درجه مربع از آسمان را با پیکسل‌های $0.4''$ ثانیه قوسی می‌پوشانند. یک راهنمای خودکار^۲ در مرکز این صفحه قرار گرفته است. در یک نوردی هرکدام از این بخش‌های دوربین 0.19° درجه مربع را خواهد پوشاند که در مجموع برای ۴ بخش همان مقدار 0.75° را خواهیم داشت. در شکل ۳ تصویری از نحوه قرارگیری این دوربین برای تصویربرداری از تمام قرص کهکشان M۳۳ مشاهده می‌کنید [۹].

۳. خلاصه آماری از داده‌های مورد بررسی

تمام داده‌های این دوربین نجومی پس از پردازش برخط در کمبریج^۳ در قالب فایل‌های MEF^۴ ذخیره می‌شوند. شکل خاص ذخیره‌سازی MEF، به این دلیل است که این دوربین، در صفحه کانونی خود از چهار موزاییک تشکیل شده است، که در هر بار تصویربرداری از آسمان چهار تصویر مجزا تولید می‌شوند. این شکل ذخیره‌سازی به ما این اجازه را می‌دهد که در هر فایل FITS^۵ چهار تصویر و چهار



شکل ۲. مقایسه اندازه صفحه کانونی دوربین WFCAM با سایر دوربین‌هایی که در این محدوده تصویربرداری می‌کنند.

(۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵) به کمک ابزار UIST در فیلترهای J، H و K تنها از بخش مرکزی کهکشان گرفته شده بودند، تحلیل شدند. در این تحقیق که با هدف بررسی بازوهای کهکشان آغاز شده است در ابتدا به ساخت فهرست ستاره‌ای پرداخته‌ایم.

۲. داده‌ها

۲.۱. دوربین WFCAM

تلسکوپ UKIRT، از نوع کاسگرین کلاسیک است، که ضخامت آینه اولیه آن در حدود نیمی از ضخامت تلسکوپ‌های هم عصر خود است و قطر آینه اصلی آن 3.8 متر است. این تلسکوپ، بزرگ‌ترین تلسکوپ دنیا است که به طور اختصاصی به عکس‌برداری در ناحیه فروسرخ اختصاص دارد، و در جزایر هاوایی نزدیک به قله موناکی^۱ در ارتفاع 4194 متری از سطح دریا قرار دارد. یکی از دوربین‌های نجومی متصل به این تلسکوپ دوربین $0.8''$ تا $2.5''$ میکرونی است که با چهار موزاییک 0.75° درجه مربع از آسمان را می‌پوشاند، این دوربین WFCAM است. تفاوت این دوربین از لحاظ اندازه با سایر دوربین‌ها در شکل ۲ آمده است.

این دوربین ابزاری برای تصویربرداری در محدوده نزدیک به فروسرخ است که در محدوده وسیعی تصویربرداری می‌کند، در واقع این ابزار با هدف مشاهدات در مقیاس بزرگ طراحی و ساخته شده است. صفحه کانونی شامل چهار بخش

۱. Mauna Kea

۲. Auto-guider

۳. Cambridge

۴. Multi-extension FITS

۵. Flexible Image Transport System (FITS)

جدول ۲. بررسی آماری داده‌ها از نظر تعداد در هر فیلتر.

فیلتر	H	J	K
تعداد	۱۷۳	۱۴۴	۴۸۴

جدول ۴. بررسی داده‌ها از نظر پروژه‌های مورد بررسی.

تعداد	پروژه
۲۵۶	U۰۵B۱۸
۳۴۵	U۰۶B۴۰
۲۰۰	U۰۷B۱۷

جدول ۳. بررسی آماری داده‌ها از نظر تعداد در هر موزاییک به تفکیک فیلتر.

موزاییک	فیلتر	H	J	K
M۳۳-۱-۱	۱۲	۲۰	۳۴	
M۳۳-۱-۲	۱۰	۲۰	۳۴	
M۳۳-۱-۳	۱۱	۲۰	۳۴	
M۳۳-۱-۴	۱۲	۲۰	۳۴	
M۳۳-۲-۱	۱۲	۸	۳۵	
M۳۳-۲-۲	۱۲	۸	۴۰	
M۳۳-۲-۳	۱۲	۸	۳۵	
M۳۳-۲-۴	۱۲	۸	۳۵	
M۳۳-۳-۱	۱۵	۶	۳۲	
M۳۳-۳-۲	۱۵	۶	۳۲	
M۳۳-۳-۳	۱۵	۶	۳۲	
M۳۳-۳-۴	۱۵	۶	۳۲	
M۳۳-۴-۱	۵	۲	۲۰	
M۳۳-۴-۲	۵	۲	۲۰	
M۳۳-۴-۳	۵	۲	۲۰	
M۳۳-۴-۴	۵	۲	۲۰	

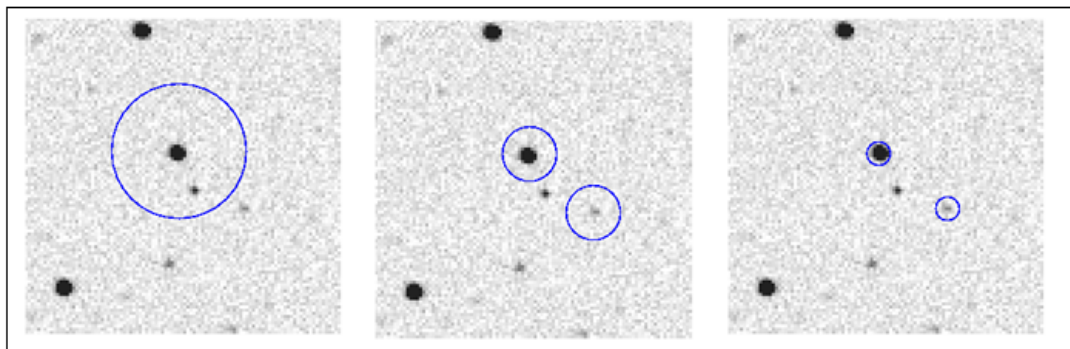
جدول ۵. بررسی داده‌ها از نظر تاریخ عکس‌برداری.

تاریخ عکس‌برداری	تعداد عکس‌ها	فیلترها
۲۰۰۵-۹-۱۸	۳۶	K
۲۰۰۵-۹-۱۹	۱۲	K
۲۰۰۵-۱۰-۱۸	۴۸	K
۲۰۰۵-۱۱-۰۴	۲۰	K
۲۰۰۵-۱۲-۲۳	۲۸	K
۲۰۰۶-۰۷-۲۱	۱۱۲	K
۲۰۰۶-۱۰-۲۸	۲۸	K, J
۲۰۰۶-۱۰-۲۹	۴۵	J, H
۲۰۰۶-۱۰-۳۰	۴۸	J, K
۲۰۰۶-۱۰-۳۱	۴	H
۲۰۰۶-۱۲-۰۵	۱۶	K
۲۰۰۶-۱۲-۱۲	۴۸	H, K
۲۰۰۷-۰۱-۱۴	۴۰	K, H
۲۰۰۷-۰۱-۱۵	۲۰	K
۲۰۰۷-۰۱-۱۶	۳۲	H
۲۰۰۷-۰۱-۱۷	۱۶	J
۲۰۰۷-۰۱-۱۸	۱۶	J
۲۰۰۷-۰۱-۲۵	۳۲	H, K
۲۰۰۷-۰۹-۱۴	۵۶	H, J, K
۲۰۰۷-۰۹-۱۹	۲۴	K
۲۰۰۷-۱۰-۰۴	۳۲	K, J, H
۲۰۰۷-۱۰-۱۳	۴۰	K, H
۲۰۰۷-۱۰-۲۴	۴۸	H, J, K

فهرست ستاره‌ای داشته باشیم که مربوط به عکس‌برداری از آسمان در یک تاریخ و با ویژگی‌های مشترک بسیار است. اما برای استفاده کردن از این داده‌ها نیازمند آن هستیم که داده‌ها را به فرمت معمول که قابل شناسایی برای نرم‌افزارهای نجومی است تبدیل کنیم. FITS یک فرمت دیجیتال برای انتقال، ذخیره‌سازی، و انجام تغییرات علمی بر روی تصاویر نجومی است. در اینجا پس از اعمال تغییرات و با استفاده از نرم‌افزار GAIA که بخشی از پروژه STARLINK است به تفکیک تصاویر و فهرست‌ها و تبدیل آنها به فرمت شناخته شده FITS پرداختیم [۱۰].

داده‌های اولیه از سه پروژه U۰۵b۱۸، U۰۶b۴۰ و U۰۷b۱۷ از سایت WFCAM دانلود شد و سپس با آخرین داده‌های موجود در بخش داده‌های آزاد، که برای دسترسی عموم در وب سایت این پروژه قرار دارد، مطابقت داده شد. پس از حذف داده‌های مشترک، داده‌های آزاد نیز به لیست قبل افزوده شد که در مجموع ۱۲۰۰

فهرست ستاره‌ای و ۱۲۰۰ تصویر آماده شد. پس از بررسی سرآیند فایل‌های FITS و مختصات تصاویر، تعدادی از این تصاویر به دلیل یکسان نبودن پروژه تصویربرداری یا یکی نبودن سیستم‌های اندازه‌گیری از پروژه حذف شدند. تعدادی از داده‌ها نیز به دلیل نقص در تصویربرداری یا از بین رفتن یک تصویر از مجموع چهار تصویر موجود در یک فایل فشرده از لیست داده‌های مورد بررسی کنار گذاشته شد و در نهایت ۸۰۱ فهرست ستاره‌ای و تصویر باقی ماند که در جداول (۲ تا ۵) شرح کوتاهی از فهرست‌های ستاره‌ای به تفکیک فیلتر موجود است.



شکل ۴. اندازه‌گیری‌های متفاوت برای به دست آوردن بهترین روزنه.

در این مرحله با استفاده از تصاویر کیش^۲، تخت و تاریک، اثرات مختلف، پیکسل‌های معیوب و تأثیر پرتوهای کیهانی از تصویر اصلی حذف می‌شود. زمانی که اثر ابزارها از تصاویر حذف شد، تصاویر برای محاسبه قدر ابزاری آماده هستند.

۴. نورسنجی

روشی که در نورسنجی WFCAM انجام شده است، نورسنجی روزنه است. در این روش روزنه‌ها به اشکال دایروی و با ۱۳ شعاع متفاوت انتخاب شده‌اند و روزنه انتخابی برای اندازه‌گیری نور تمام ستاره‌های تصویر اعمال شده است. این نورسنجی توسط تیم WFCAM با نتایج نورسنجی به روش تابع پخش نقطه‌ای، که معمولاً برای مناطق پرجمعیت استفاده می‌شود، مقایسه شده است و در نهایت دقت این روش مورد تأیید قرار گرفته است.

در نورسنجی روزنه‌ای نیازمند مجموعه‌ای از روزنه‌ها هستیم که با داده‌های موجود مطابقت داده شود و انتخاب یک روزنه برای بررسی نهایی روش آسانی نیست. در شکل ۴ مراحل انتخاب روزنه مناسب نمایش داده شده است [۱۲].

در برنامه‌های کاربردی نجومی هدف از نورسنجی روزنه‌ای، تخصیص یک عدد به روشنایی ستاره بدون تأثیر پذیری از کیش، نور آسمان، ستاره‌ها و یا کهکشان‌های اطراف است. اگر همه این منابع در یک روزنه نباشند حداقل برخی از آنها همیشه در یک روزنه با اندازه محدود وجود دارند، و به همین علت اندازه‌گیری نور زمینه مهم است. بهترین حالت برای این به

در این جدول نامی از داده‌های آزاد نیامده است. نام پروژه‌ها همان سه پروژه تصویربرداری است که قبلاً نیز آمد، تفاوت بین داده‌های آزاد و داده‌های موجود در پروژه‌ها نام پروژه نبود، چرا که تنها داده‌هایی از بین همه داده‌های آزاد مورد استفاده قرار گرفتند، که با پروژه‌های تصویربرداری مورد بررسی یکسان بودند. در واقع داده‌های آزاد کمک به سزایی به حل مشکل نقص بعضی از تصاویر کردند.

در فهرست‌های ستاره‌ای بین ۲۶۰ تا ۲۷۰ سطر به مشخصات تصویر شامل موقعیت دوربین، فیلتر، هوا توده در شروع و پایان تصویربرداری، زمان نوردهی و ... اختصاص داده شده است. پس از آن داده‌های رصدی در ۸۰ ستون با ذکر مختصات ستاره، شاخص ستاره، شار و خطای شار در روزنه‌های متفاوت آمده است [۱۱]. آنچه در فهرست‌های ستاره‌ای تفکیک شده موجود است، شار ستاره است پس در اولین مرحله پس از دسته‌بندی فهرست‌ها بر اساس موزاییک و فیلتر، باید با استفاده از داده‌های موجود در سرآیند فهرست‌های ستاره‌ای به محاسبه قدر پرداخت.

اولین مرحله برای تولید قدرهای کالیبره شده در فهرست ستاره‌ها، اندازه‌گیری قدر ابزاری اجرام رصد شده و ستاره‌های استاندارد است که در تصاویر موجود است. قدر ابزاری^۱ معمولاً نسبت به نور زمینه اندازه‌گیری می‌شود. قبل از محاسبه قدر ابزاری باید تأثیرهای ناخواسته‌ای که در تصویربرداری به دلیل نقص ابزارها و ... در تصاویر ایجاد شده است، حذف شود.

۲. Bias

۱. Instrumental magnitude

دو فهرست ستاره‌ای تقریباً یکسان است و جابه‌جایی قابل صرف‌نظر کردنی بین این دو فهرست ستاره‌ای وجود دارد.

۵. اخترسنجی

برای سنجش دقت مکان ستاره‌ها آنها را با فهرست ستاره‌ای ۲MASS مقایسه می‌کنیم. با هم‌خط کردن تمام فهرست‌ها با یک فهرست مرجع (در اینجا ۲MASS) از هم‌خط بودن فهرست‌ها نسبت به یکدیگر اطمینان پیدا می‌کنیم. این کار به بالا رفتن دقت در پیدا کردن ستاره‌های مشترک در ساخت فهرست نهایی کمک می‌کند. برای این کار ابتدا ستاره‌های مشترک هر فهرست با ۲MASS با دقت ۰٫۱ ثانیه قوس و شعاع جستجوی ۱ ثانیه قوس شناسایی می‌شود. سپس با استفاده از روابط زیر بعد و میل ستاره‌ها در فهرست ستاره‌ای WFCAM را به بعد و میل در فهرست ستاره‌ای ۲MASS تبدیل می‌کنیم. به این ترتیب مکان تمام ستاره‌ها در تمام فهرست‌های ستاره‌ای با یک فهرست ستاره‌ای مرجع مقایسه و هم‌خط می‌شود و اثر جابه‌جایی فهرست‌های ستاره‌ای حذف می‌شود. α, δ مختصات ستاره‌ها در فهرست ستاره‌ای WFCAM و α', δ' مختصات ستاره‌ها در فهرست ستاره‌ای ۲MASS است.

$$\alpha' = A\alpha + B\delta + C,$$

$$\delta' = D\alpha + E\delta + F,$$

$$\chi_{\alpha}^2 = \sum_{i=1}^N (A\alpha_i + B\delta_i + C - \alpha'_i)^2,$$

$$\chi_{\delta}^2 = \sum_{i=1}^N (D\alpha_i + E\delta_i + F - \delta'_i)^2, \quad (1)$$

$$\frac{d\chi_{\alpha}^2}{dA} = 0 \rightarrow 2 \sum_{i=1}^N \alpha_i (A\alpha_i + B\delta_i + C - \alpha'_i) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i \alpha'_i = A \sum_{i=1}^N \alpha_i^2 + B \sum_{i=1}^N \alpha_i \delta_i + C \sum_{i=1}^N \alpha_i,$$

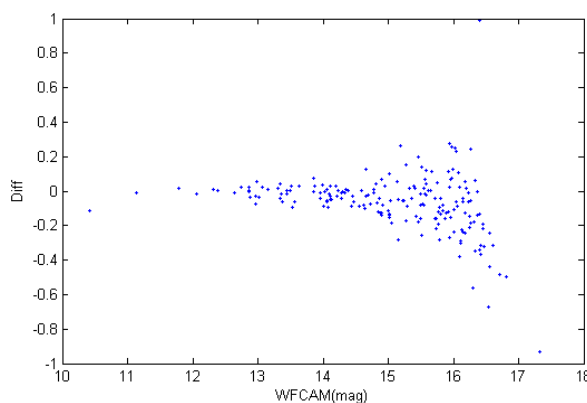
$$\frac{d\chi_{\alpha}^2}{dB} = 0 \rightarrow 2 \sum_{i=1}^N \delta_i (A\alpha_i + B\delta_i + C - \alpha'_i) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^N \delta_i \alpha'_i = A \sum_{i=1}^N \alpha_i \delta_i + B \sum_{i=1}^N \delta_i^2 + C \sum_{i=1}^N \delta_i, \quad (2)$$

$$\frac{d\chi_{\alpha}^2}{dC} = 0 \rightarrow 2 \sum_{i=1}^N (A\alpha_i + B\delta_i + C - \alpha'_i) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^N \alpha'_i = A \sum_{i=1}^N \alpha_i + B \sum_{i=1}^N \delta_i + CN. \quad (3)$$

با حل دستگاه سه معادله سه مجهول معادلات (۱) و (۲) و (۳) ضرایب A و B و C به دست می‌آید و به همین روش ضرایب D و E و F را به دست می‌آوریم.



شکل ۵. توزیع قدر- اختلاف قدر حاصل از مقایسه دو فهرست ستاره‌ای WFCAM و ۲MASS.

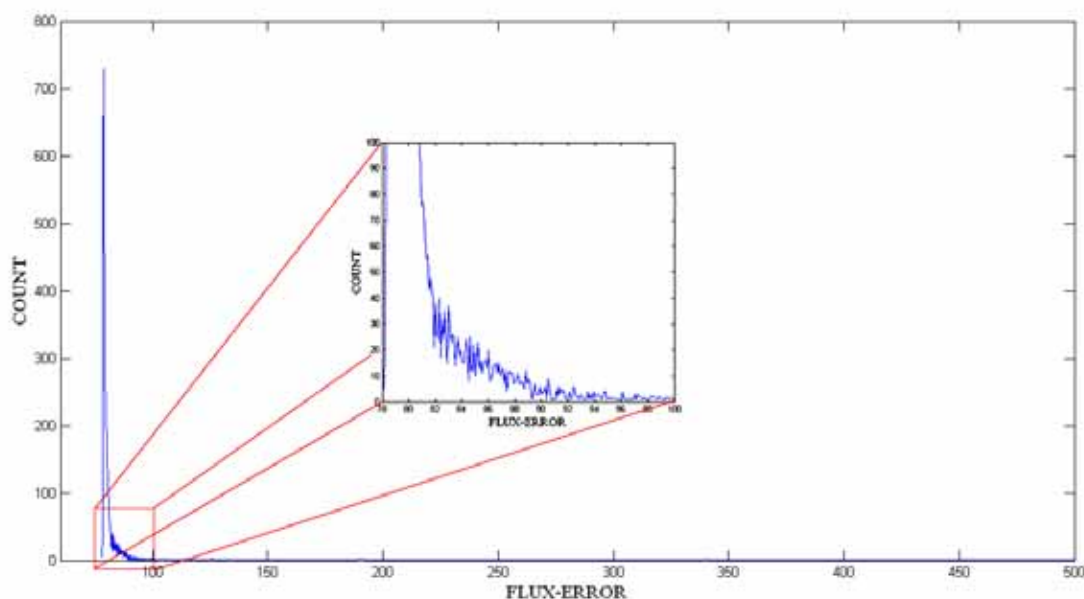
دست آوردن نور زمینه، تخمین آن توسط قسمت‌هایی است که در پشت ستاره قرار گرفته است، اما همیشه این کار ممکن نیست؛ مگر در موارد اجرام در حال حرکت و یا ابرنواخترها. بنابراین روشی که برای این کار استفاده می‌شود تخمین نور زمینه آسمان با استفاده از سایر مناطق نزدیک به جسم است. در ساده‌ترین حالت هیستوگرام^۱ مقدار پیکسل‌های زمینه، به دلیل نوسانات اتفاقی^۲ توزیع تقریباً گاوسی دارد، و بهترین برآورد یک میانگین‌گیری ساده است. پرتوهای کیهانی، نویزهای تصویربرداری، ستارگان نزدیک و پیکسل‌های خراب از دیگر عوامل تأثیرگذار بر نور زمینه هستند. در حالت کلی اندازه روزنه مرکزی به گونه‌ای انتخاب می‌شود که نور ستاره را برای بیشتر ستاره‌هایی که در تصویر وجود دارد در بر بگیرد. اندازه معمول، بین ۳ تا ۵ برابر FWHM^۳ ستاره تصویر است.

برای بررسی دقت محاسبه قدر، ستاره‌های یکسان با فهرست ستاره‌ای ۲MASS^۴ را در فهرست ستاره‌ای WFCAM مشخص می‌کنیم، سپس نمودار اختلاف قدر WFCAM با ۲MASS بر حسب قدر WFCAM را رسم می‌کنیم (شکل ۵) در این نمودار خطای اندازه‌گیری قدر را نیز با خطوط عمودی مشخص می‌کنیم، زیاد شدن خطای قدر با زیاد شدن اختلاف قدر توزیع یکسانی دارد. این توزیع طبیعی نشان می‌دهد که نتیجه محاسبه قدر این

۱. Histogram
۲. Random fluctuations
۳. Full Width Half Maximum
۴. Two Micron All Sky Survey (۲MASS)

جدول ۶. نتایج محاسبه میزان جابه‌جایی فهرست WFCAM نسبت به 2MASS.

نام فایل	A	B	C	D	E	F
E۲۰۰۸۱۲۱۹_۱۰۰۵۲۰۰۰۲.csv	۱,۰۰	-۷,۲۴E-۰۵	-۲,۳۲E-۱۲	۸,۰۸E-۰۵	۱,۰۰	۲,۹۹E-۱۲
Fw۲۰۰۷۰۹۱۴_۰۱۵۹۸_۱.csv	۱,۰۰	-۲,۹۰E-۰۵	-۱,۶۷E-۱۲	۶,۸۰E-۰۵	۱,۰۰	۱,۸۷E-۱۲
Fw۲۰۰۷۰۹۱۴_۰۱۶۷۹_۱.csv	۱,۰۰	-۱,۵۰E-۰۵	-۱,۵۴E-۱۲	۶,۲۰E-۰۵	۱,۰۰	۱,۶۵E-۱۲
W۲۰۰۶۱۰۲۹_۰۰۵۰۰_۱.csv	۱,۰۰	-۲,۶۴E-۰۵	-۱,۴۴E-۱۲	۵,۶۶E-۰۵	۱,۰۰	۱,۴۹E-۱۲



شکل ۶. تعداد ستاره‌ها بر حسب خطای شار.

۶. نتایج

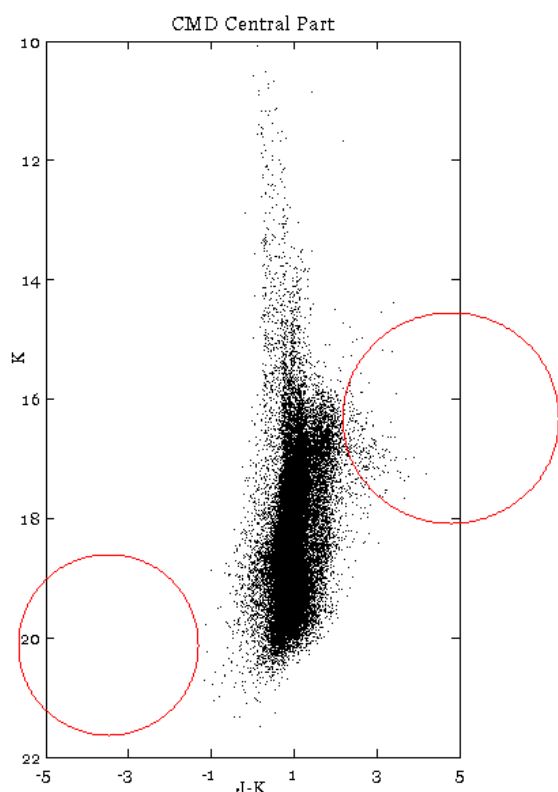
با استفاده از جدول ۶ که نمونه‌ای از نتایج فایل ضرایب در آن آمده است. پس از خواندن داده‌های مربوط به هر فهرست ستاره‌ای، آنها را در ضرایب مربوط؛ ضرب می‌کنیم و با استفاده از داده‌های جدید برنامه همبستگی را اجرا می‌کنیم.

۷. حذف داده‌ها با خطای قدر بزرگ

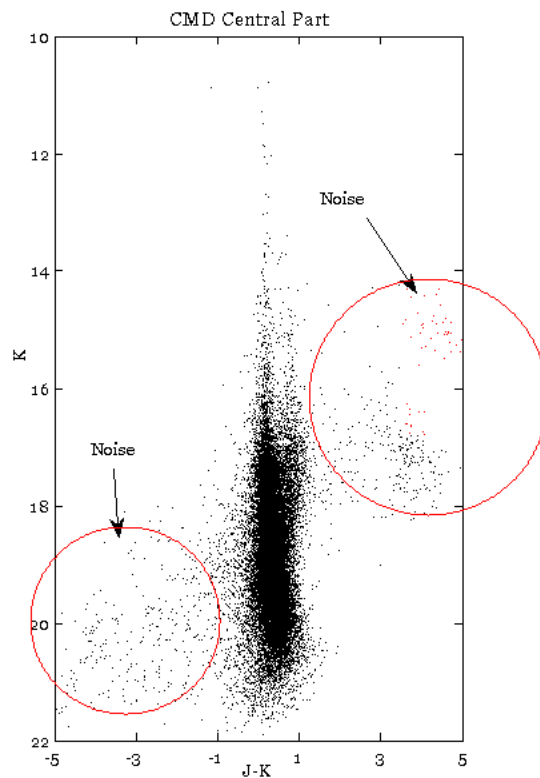
در نمودار شکل ۶ برای نمونه یکی از فهرست‌های ستاره‌ای از لحاظ میزان نوفه مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۶ تعداد ستاره‌ها بر حسب خطای شار رسم شده است. در برنامه اولیه که برای محاسبه قدر از آن استفاده شد، تنها ستاره‌هایی که خطای شار آنها از خود شار بزرگ‌تر بود و یا ستاره‌هایی که مقدار شار برای آنها منفی ثبت شده بود حذف شدند. در

نهایت برای حذف ستاره‌ها بر اساس خطای قدر، با کم کردن گام به گام حد خطا تا جایی پیش می‌رویم که خطاهای بارز موجود در نمودار قدر رنگ را حذف کنیم.

پس از اولین اجرای برنامه، و با تست‌های اولیه، باید حدی را پیدا کرد که علاوه بر حذف کردن نویزها، تعداد زیادی از داده‌ها را نیز از دست ندهیم. همان‌طور که در شکل‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود، حذف ستاره‌ها با خطای قدر بالای ۰٫۶ باعث حذف تعداد بسیاری از نویزهای می‌شود. در شکل ۷ توده‌ای از ستاره‌ها که در محدوده‌هایی که با دایره مشخص شده قرار گرفته‌اند (توده‌ای از ستاره‌ها با $17 < K < 15$ و $4 < J-K < 6$) ستاره‌هایی را نشان می‌دهد که بسیار روشن هستند مقدار نویز این ستاره‌های بیشتر از ۰٫۶ است، در M۳۳ انتظار وجود این ستاره‌ها در منطقه مشخص شده نیست، با



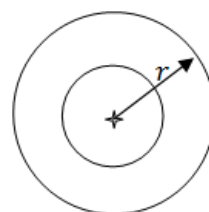
شکل ۸. نمودار قدر رنگ پس از حذف ستاره‌ها بر اساس خطای قدر.



شکل ۷. نمودار قدر رنگ بدون حذف ستاره‌های بر اساس خطای قدر.

نورترین (از قدر کمتر تا قدر بیشتر) مرتب می‌شوند. به این ترتیب در مراحل یافتن ستاره‌های مشابه، ستاره‌های هم قدر با هم مقایسه می‌شوند. پس از یافتن هر ستاره، آن ستاره و ستاره مشابه در فهرست ستاره‌ای دوم از فهرست حذف می‌شوند، تا دوباره وارد مرحله مقایسه نشوند. این ستاره‌های مشابه در لیست ستاره‌های مشابه ثبت می‌شوند و برنامه به آنها علاوه بر شناسه قدر و مختصات خودشان، یک شناسه یکسان می‌دهد.

در شکل ۹ دایره‌ای به مرکز یک ستاره در فهرست ستاره‌ای (۱) رسم شده است، شعاعی که برای جستجو انتخاب می‌شود شعاع r به مرکز ستاره است. برای آنکه با دقت بیشتری کار جستجو را انجام دهیم، شعاع دایره را به K قسمت تقسیم می‌کنیم و در هر مرحله شعاع r/K را به شعاع جستجو می‌افزاییم و ستاره‌هایی که در فاصله مورد نظر از ستاره اصلی هستند را در فهرست‌های ستاره‌ای دیگر جستجو می‌کنیم. در هر مرحله در صورتی که ستاره‌ای در فاصله مورد نظر پیدا نشد، یک گام به جلو حرکت می‌کنیم. عامل دیگری که در برنامه

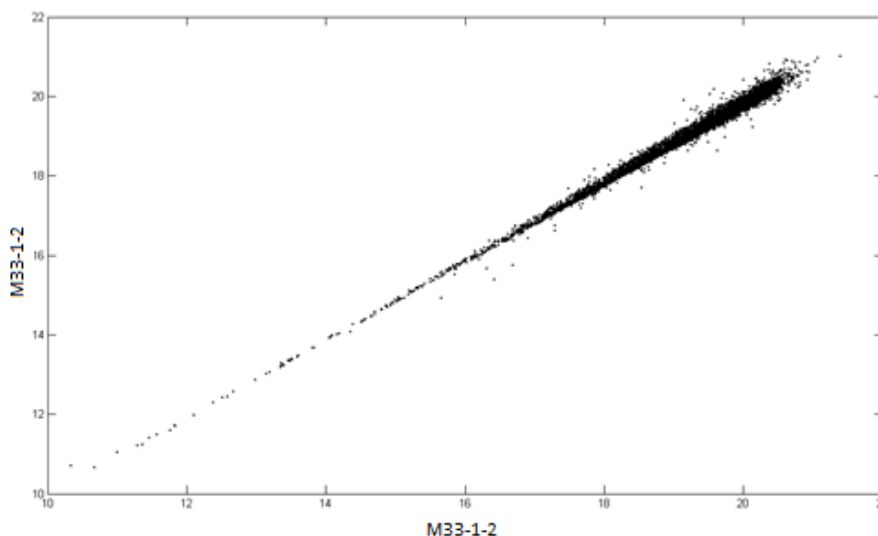


شکل ۹. نمایش شعاع جستجوی ستاره‌های یکسان.

جابه‌جایی خطای قابل قبول و حذف خطای قدر بیش از ۰٫۶، شکل ۸ حاصل می‌شود، که در آن اثر نوفه به حداقل ممکن رسیده است.

۸. روش همبستگی

روش همبستگی که برای یافتن ستاره‌های یکسان در دو فهرست، در اینجا انجام شده است، یافتن ستاره‌هایی است که در فهرست‌های ستاره‌ای متفاوت در شعاع محدودی به مرکز ستاره‌ای از فهرست ستاره‌ای اول قرار گرفته‌اند. در این روش ابتدا با حذف خطاهای ناشی از اختراستی و نوفه‌ها، ستاره‌ها در هر یک از فهرست‌های ستاره‌ای به ترتیب قدر از پرنورترین تا کم



شکل ۱۰. نمودار قدر فهرست ۱ بر حسب قدر ستاره‌های مشابه در فهرست ۲.

ستاره مورد جستجو از فهرست مرجع را به فهرست نهایی منتقل می‌کنیم و به جای مشخصات ستاره مشابه، عددهای ثابتی که به معنی نبودن ستاره متناظر است در فهرست نهایی ثبت می‌کنیم. و به همین ترتیب تا پایان فهرست را جستجو می‌کنیم.

پس از آنکه تمام فهرست‌های موجود در یک فیلتر و موزاییک خاص با بزرگ‌ترین فهرست مقایسه شدند، نوبت به ساخت یک فهرست نهایی از این موزاییک است. برای این کار با حذف ستاره‌هایی که در هیچ یک از فهرست‌های ستاره‌ای نبوده‌اند و محاسبه انحراف معیار، میانگین قدر و تعداد فهرست‌های مورد بررسی، ستاره‌ها در فهرست ستاره‌ای نهایی ثبت می‌شوند.

۹. بررسی دقت همبستگی با تطابق دو فهرست ستاره‌ای در

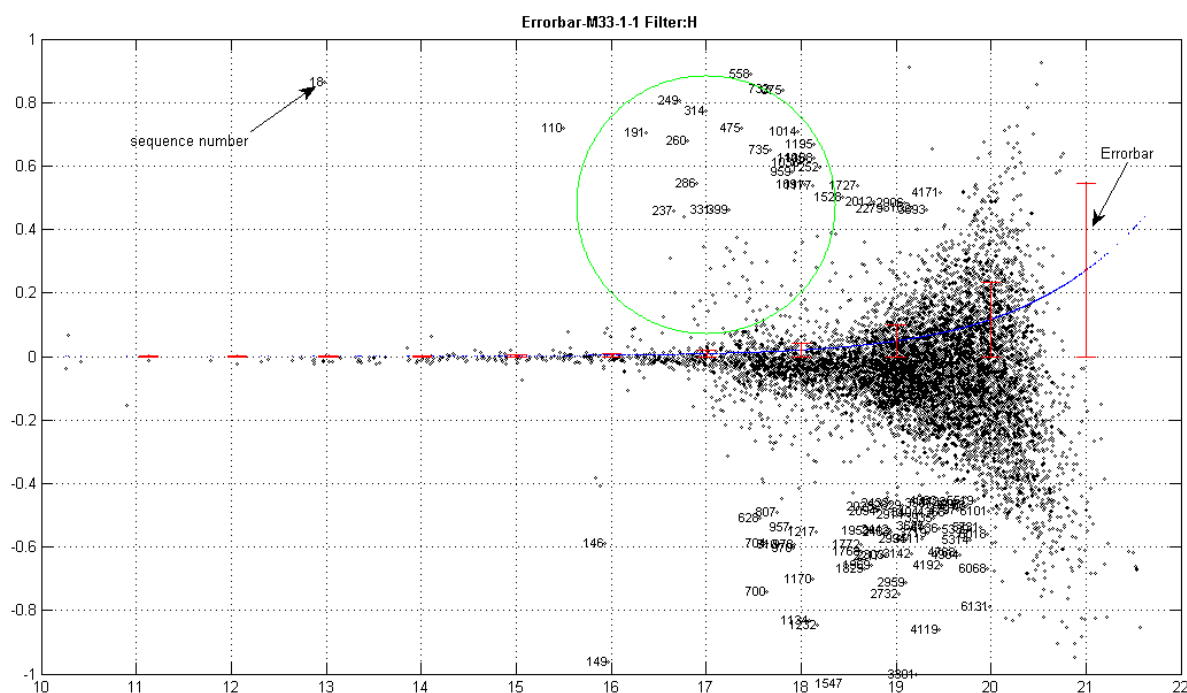
یک موزاییک

برای بررسی نتایج همبستگی نمودار قدر-قدر دو فهرست ستاره‌ای مقایسه شده را رسم می‌کنیم. در صورتی که دقت کار همبستگی خوب باشد این نمودار خطی با شیب تقریباً یک است و توزیع ستاره‌ها بسیار به خط $y=x$ نزدیک است. در شکل ۱۰ نمونه‌ای از این نتایج آمده است.

محاسبه می‌شود خطای سیستماتیک است. منظور از خطای سیستماتیک، همان خطای اخترسنجی است که به صورت سیستماتیک محاسبه می‌شود، در این روش به جای هم‌خط کردن فهرست‌ها با یک فهرست مرجع مانند YMASS، فهرست‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند و تمام فهرست‌ها نسبت به اولین فهرست هم‌خط می‌شوند. در صورتی که فهرست مرجعی برای مقایسه وجود نداشته باشد، این روش باعث اجتناب از خطای اخترسنجی می‌شود، اما از طرفی باعث گسترش جابه‌جایی در فهرست‌ها نیز می‌شود.

در این قسمت ستاره‌هایی که خطای قدر آنها بالاتر از مقدار تعریف شده است، از لیست ستاره‌ها حذف می‌شوند. این مقدار حدی برای ستاره‌ها به صورت تجربی و یا با تبدیل خطای شار به خطای قدر، در صورتی که مقدار مشخصی برای حد خطای شار تعریف شده باشد، امکان پذیر است.

پس از مرتب کردن ستاره‌ها بر اساس قدر در تمامی فهرست‌ها، کار مقایسه و جستجو را آغاز می‌کنیم. اولین ستاره از فهرست مرجع (بزرگ‌ترین فهرست ستاره‌ای در موزاییک مورد بررسی) را در نظر می‌گیریم، در شعاع جستجوی تعریف شده به دنبال ستاره‌ای مشابه می‌گردیم. در صورتی که این ستاره پیدا شد آن را از لیست جستجو حذف و در فهرست نهایی ثبت می‌کنیم. در صورتی که ستاره مشابهی یافت نشد،



شکل ۱۱. نمودار خطای قدر- قدر برای یک فهرست ستاره‌ای که میزان خطای قدر و شاخص ستاره‌ها در آن آمده است.

Pul-3^۱ که در آن مکان و حرکت نسبی ۵۸۴۸۳ ستاره بررسی شده است و یک ستاره متعلق به کهکشان M۳۳ در کاتالوگ IFM-R^۲ که فهرستی است از غول‌های سرخ و آبی در کهکشان M۳۳ است، مشاهده می‌شود که فاصله بین این دو ستاره کمتر از دقت برنامه است.

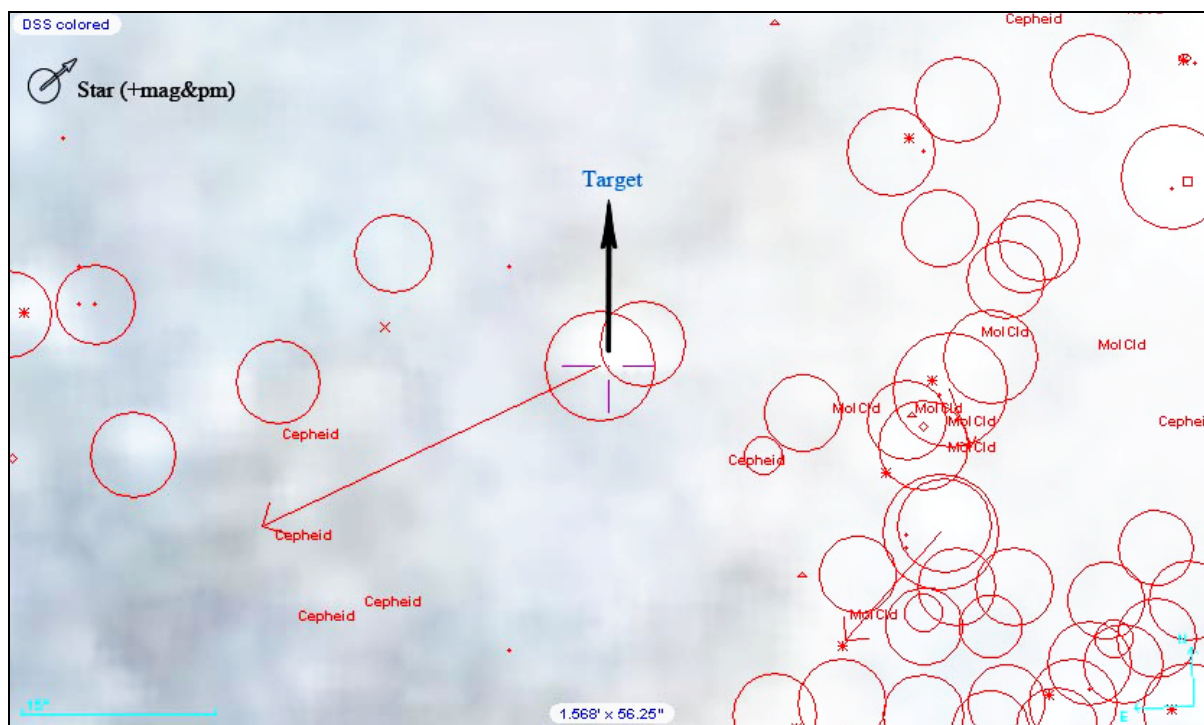
برای کم کردن خطای ناشی از حضور ستاره‌های کهکشان خودمان باید آنها را قبل از همبستگی شناسایی و حذف کرد. این کار باعث بالاتر رفتن دقت همبستگی می‌شود. روش‌های دیگری نیز با توجه به نوع ساختار فهرست‌های ستاره‌ای می‌توان در پیش گرفت و نتایج را با هم مقایسه کرد. یکی از این روش‌ها حذف داده‌های با اختلاف قدر زیاد نسبت به مقدار میانگین در مرحله میانگین‌گیری و ساخت فهرست ستاره‌ای نهایی است. و یا حذف کردن داده‌هایی که کمترین تعداد را در بین فهرست‌های ستاره‌ای مورد بررسی داشته‌اند. به همین منظور در فهرست نهایی میانگین و انحراف معیار ستاره‌ها نیز آمده است.

۱۰. بررسی دقت همبستگی با استفاده از نمودار قدر- قدر
راه دیگر بررسی دقت همبستگی بررسی نمودارهای قدر بر اساس اختلاف قدر است. در این نمودارها نتیجه همبستگی بین دو فهرست ستاره‌ای از یک موزاییک هستند، و اختلاف قدر بین دو فهرست ستاره‌ای در بازه حدود ۱ قدر اختلاف ترسیم شده است.

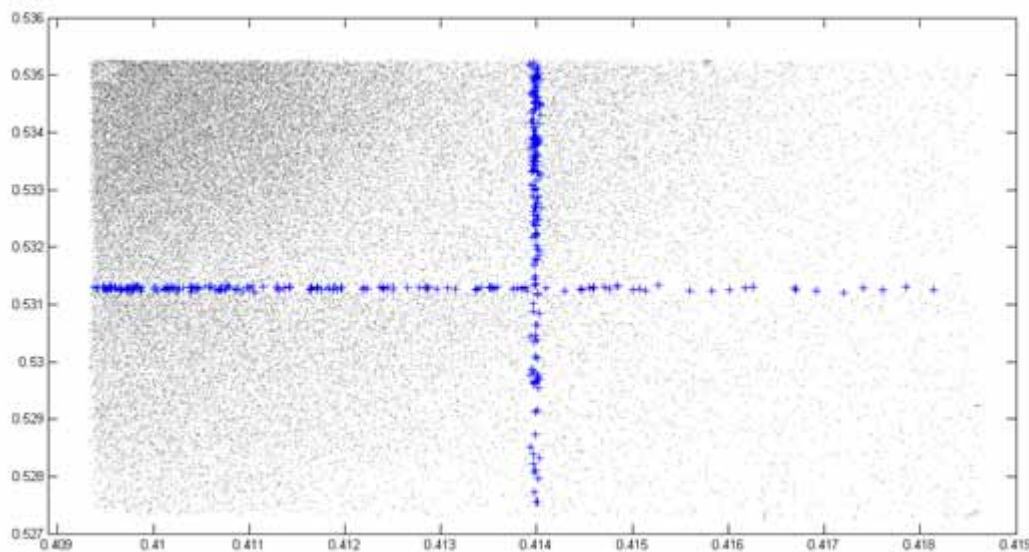
در شکل ۱۱ نقاط مربوط به داده‌ها فهرست ستاره‌ای M۳۳-۱-۱ در فیلتر H دیده می‌شود. شناسه مربوط به ستاره‌هایی با روشنایی بین ۱۰ تا ۱۸ قدر و اختلاف قدر بیش از ۰٫۲ با رنگ سبز، کنار هر ستاره آمده است. برای بررسی دقت کار یکی از ستاره‌ها که قدری در حدود ۱۳ و اختلاف قدری بیش از ۰٫۲ دارد را مورد بررسی قرار می‌دهیم. با مراجعه به پایگاه داده‌های نجومی SIMBAD و دادن مختصات نقطه مورد بررسی (داده‌های مربوط به مختصات با توجه به شناسه از فهرست ستاره‌ای مرجع به دست می‌آید). ستاره‌های شناخته شده در فاصله ۱۰ ثانیه قوسی در اطراف این ستاره را مورد بررسی قرار می‌دهیم. همان طور که در شکل ۱۲ مشخص است، در محل مربوط یک ستاره زمینه که متعلق به کهکشان M۳۳ نیست، در کاتالوگ

۱. Pulkovo observatory

۲. Ivanov+Freedman+Madore, Red



شکل ۱۲. ستاره ۱۸ فهرست ستاره‌ای مورد بررسی در پایگاه داده‌های نجومی SIMBAD. در این تصویر یک ستاره کهکشان راه شیری در کنار ستاره مورد بررسی مشخص شده است.

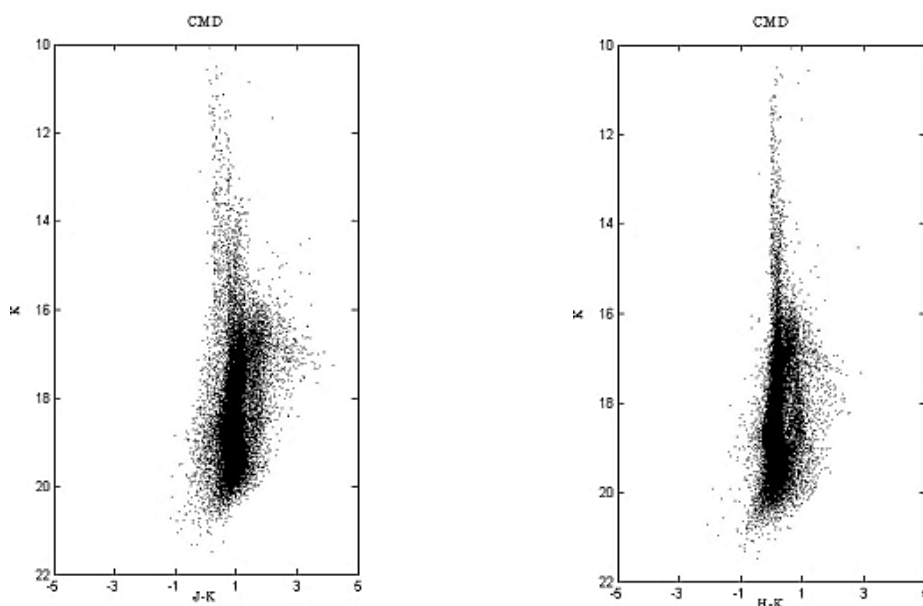


شکل ۱۳. ستاره‌های چهار موزاییک مجاور در تصویربرداری. ستاره‌های مرز مشترک با رنگ آبی مشخص شده است.

داده‌های قابل اعتمادی نیستند. اما از طرفی شناسایی ستاره‌های مشترک در این نواحی به دلیل زیاد شدن تعداد رصدهای این ستاره‌ها و داشتن اطلاعات بیشتر از آنها برای محاسبه متغیرها بسیار مهم است. در شکل ۱۳ ستاره‌های مرز مشترک در ۴ موزاییک مجاور با رنگ آبی مشخص شده است.

۱۱. مقایسه فهرست‌های ستاره‌ای در موزاییک‌های مختلف

از همبستگی فهرست‌های ستاره‌ای در موزاییک‌های متفاوت، در واقع ستاره‌های روی مرز مشترک دو فهرست ستاره‌ای به دست می‌آیند، نکته قابل توجه در این بررسی این است که معمولاً ستاره‌هایی که روی مرز واقع شده‌اند خطای قدر زیادی دارند، و



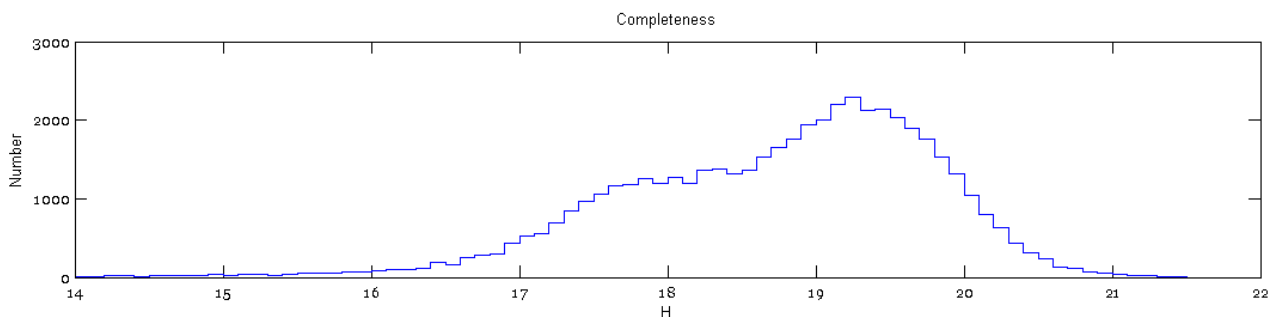
شکل ۱۴. نمودار قدر رنگ برای کهکشان M۳۳ پس از بررسی ۸۰۱ فهرست ستاره‌ای حاصل از تصویربرداری توسط دوربین WFCAM.

در پایان این مرحله، شانزده فهرست ستاره‌ای مرجع ساخته‌ایم که ستاره‌های مرزی به شکل قابل قبولی در آنها قرار گرفته‌اند، و می‌توان بدون نگرانی آنها را در کنار هم قرار داد. اما قبل از این کار، این روند را برای هر سه فیلتر تکرار می‌کنیم تا فهرست‌های ستاره‌ای مرجع را برای هر سه فیلتر بسازیم، سپس فهرست‌های ستاره‌ای در فیلترهای مختلف را بر اساس قدر میانگین در هر فهرست ستاره‌ای با هم مقایسه می‌کنیم. و به این ترتیب فهرست ستاره‌ای نهایی با شناسه‌ای که در هر فیلتر نشان‌دهنده همه داده‌های مربوط به آن قدر میانگین است، ساخته می‌شود.

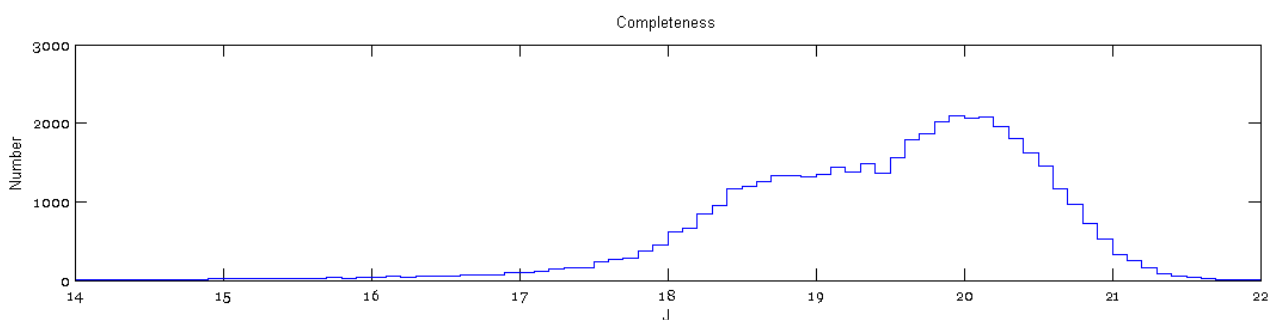
۱۲. نمودار قدر رنگ در فرکانس‌های فرسوخ نزدیک

شکل ۱۴ نمودار قدر-رنگ را برای کهکشان M۳۳ و در فرکانس‌های فرسوخ نزدیک نشان می‌دهد. در این نمودار، در محور عمودی قدر ستاره در یک فیلتر (معمولاً فیلتر K) و در ستون دیگر اختلاف قدر ستاره در دو فیلتر J, K و یا K و H ثبت می‌شود. با رسم این نمودار برای تمام ستاره‌های موجود در فهرست ستاره‌ای و تحلیل آن می‌توان اطلاعاتی از تحول ستاره‌های آن کهکشان، توزیع ستاره‌ها در صفحه کهکشان، نوع ستاره‌ها و کیفیت کار همبستگی انجام شده، به دست آورد. از

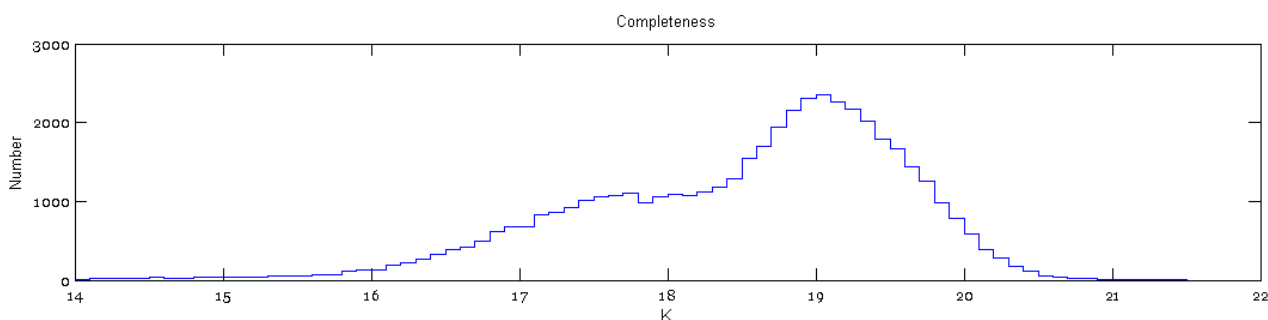
مسئله مهم نحوه افزودن این ستاره‌های مشترک به فهرست نهایی با اجتناب از تکرار آنها است. آنچه در نهایت برای حذف ستاره‌ها در نظر گرفته شد، حذف داده‌ها به صورت تک به تک بود. به این ترتیب که شناسه ستاره‌های مشترک مربوط به فهرست ستاره‌ای مرجع موزاییک یک، از فهرست ستاره‌ای مرز برداشته می‌شود و در فهرست ستاره‌ای موزاییک یک این شناسه را پیدا می‌کنیم، سپس مقدار متناظر آن در فهرست ستاره‌ای مرز، یعنی شناسه ستاره مشترک برای فهرست ستاره‌ای موزاییک دو را برداشته و در فهرست ستاره‌ای موزاییک دو، سطر مربوط به آن را پیدا می‌کنیم، تمام این داده‌ها را در مقابل داده‌های ستاره مشترک در فهرست ستاره‌ای موزاییک یک می‌نویسیم و این سطر از داده‌ها را از فهرست ستاره‌ای موزاییک دو حذف می‌کنیم. به این ترتیب این ستاره نه تنها دو بار تکرار نشده، بلکه داده‌های آن در میانگین‌گیری مورد استفاده قرار خواهد گرفت. قانونی که در این بخش رعایت می‌شود این است که در سایر ستون‌های فهرست ستاره‌ای که ستاره مشترکی وجود نداشته عدد صفر نوشته می‌شود، و برای ردیابی صحیح ستاره‌ها قبل از شروع نوشتن فهرست ستاره‌ای، شناسه فهرست ستاره‌ای که در واقع مشخصات مکان آن را مشخص می‌کند در دو ستون اول می‌آید.



شکل ۱۵. هیستوگرام فیلتر H.



شکل ۱۶. هیستوگرام فیلتر J.



شکل ۱۷. هیستوگرام فیلتر K.

هیستوگرام توزیع ستاره‌ها بر حسب قدر در شکل‌های ۱۵ تا ۱۷ نشان داده شده است. همان طور که در این تصاویر می‌بینید، دو قله در این نمودار قابل مشاهده است که قله اول مربوط به ستاره‌های پرنورتر AGB و قله دوم مربوط به ستاره‌های RGB است. این تأیید دیگری بر برنامه همبستگی است. برای فیلترهای مختلف این حد متفاوت است، به عنوان مثال در تصاویر رسم شده، قله RGBها برای فیلتر H در قدر ۱۹٫۳،

این نمودار برای بررسی دقت کار همبستگی در ساخت فهرست ستاره‌ای نهایی استفاده شده است. همان طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، با رسم این نمودار در صورتی که خطای واضحی در نمودار وجود داشته باشد، خود را نشان داده و می‌توان به بررسی و رفع این خطا پرداخت. اما بررسی دقیق فهرست ستاره‌ای کاری است که با تحلیل جزئی نتایج در سایر مراحل این پروژه امکان پذیر است.

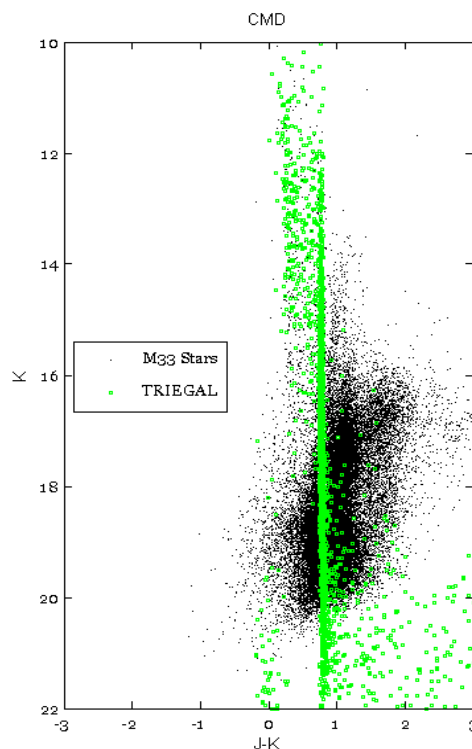
این هم سن‌ها توسط ماریگو و همکاران به دست آمده است [۱۴]. ستاره‌هایی با سن و ترکیبات شیمیایی یکسان روی یک خط هم سن قرار می‌گیرند هرچند که جرم این ستاره‌ها متفاوت است و جرم آنها تعیین می‌کند که ستاره در چه نقطه‌ای (قدر و شاخص رنگی) روی هر خط هم سن قرار می‌گیرد. در واقع هم سن‌ها نشان می‌دهند که یک ستاره با جرم مشخص در چه نقطه‌ای از نمودار قدر رنگ قرار می‌گیرد. هم سن‌ها برای ستاره‌هایی با فلزیت $Z=0.008$ به دست آمده است. مدول فاصله $\mu=24.9$ برای رسم هم سن‌ها روی نمودار قدر-رنگ کهکشان M۳۳ استفاده شده است [۱۵].

این هم سن‌ها بهترین مدلی است که می‌توان استفاده کرد. ستاره‌هایی همانند ستاره‌های AGB که تولید غبار می‌کنند و دوره نوسان طولانی دارند در این مدل بررسی شده است. همان طور که با دنبال کردن هم سن‌ها در شکل می‌بینید، مسیر تحول ستاره‌های AGB در هم سن‌های رسم شده با دانش نظری منطبق است. این ستاره‌ها در مسیر تحول بخش اعظمی از جرم خود را از دست می‌دهند و این کاهش جرم باعث افزایش غبار در اطراف ستاره می‌شود. افزایش غبار باعث کاهش درخشندگی ستاره شده و ستاره قرمزتر می‌شود.

هم سن به مقدار بیشینه درخشندگی می‌رسد و پس از آن درخشندگی ستاره به شدت افت می‌کند. در شکل ۱۹ سن ستاره‌های مربوط به هر هم سن در کنار جدول آمده است. هم سن با سن ۱ Gyr به خوبی با آن چه ما با مشاهده به دست آوردیم مطابقت دارد. ستاره‌های قرمزتر شاخه‌ای را تشکیل می‌دهند که با یک شیب مشخص به سمت کاهش درخشندگی در فیلتر K پیش می‌روند. هم سن ۱۰ Gyr شیب بسیار تندتری دارد که با مشاهدات مطابقت ندارد. این هم سن مربوط به ستاره‌های بسیار کم جرم است که به سرعت تحت تأثیر غبار قرار گرفته و غیرقابل شناسایی می‌شوند.

۱۳. مقایسه با سایر فهرست‌ها

برتری عمده این تحقیق وسعت پوشش کهکشان در مقایسه با سایر تصویربرداری‌ها است. در شکل ۲۰ می‌توانید نتیجه

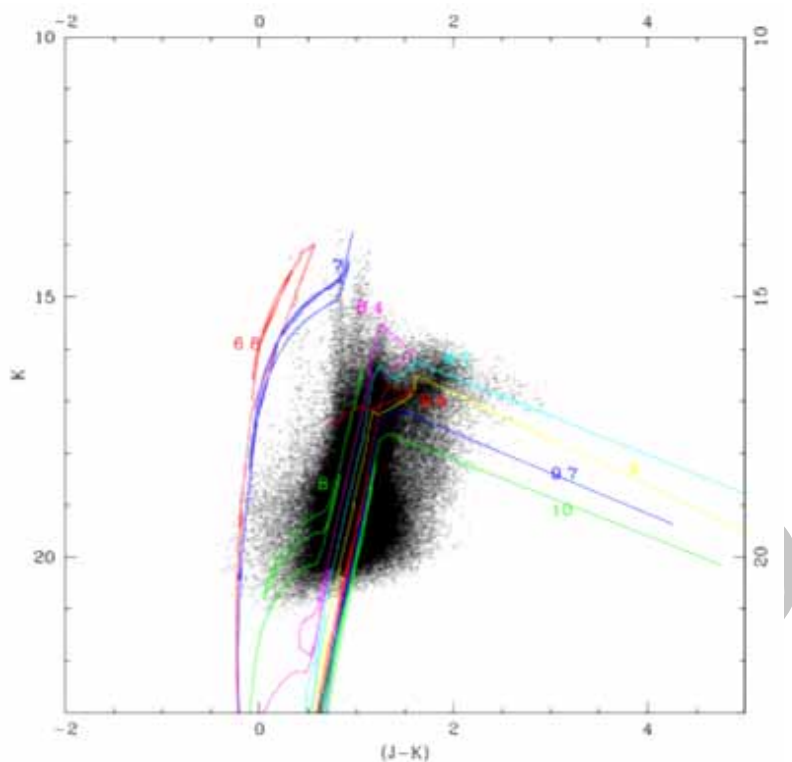


شکل ۱۸. نمودار قدر رنگ کهکشان M۳۳، ستاره‌های شاخه عمودی که با رنگ سبز آمده متعلق به کهکشان M۳۳ نیستند.

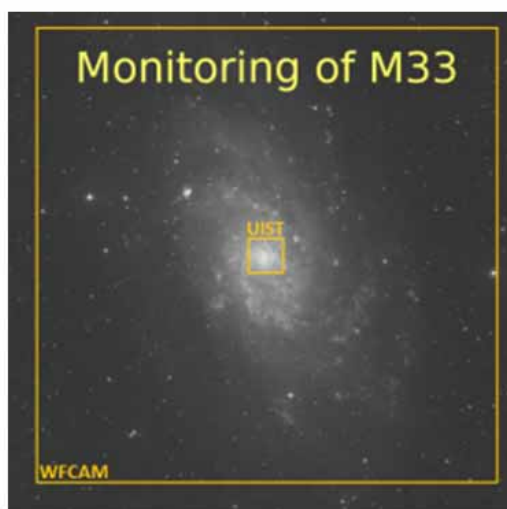
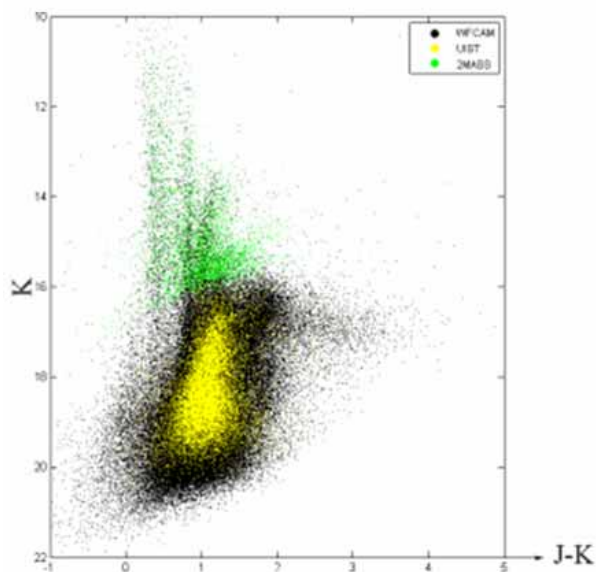
برای فیلتر J در قدر ۲۰/۰، و برای فیلتر K در قدر ۱۹/۰ قرار دارد. تعدادی از ستاره‌هایی که در این تحقیق بررسی شده‌اند ستاره‌های کهکشان M۳۳ نیستند. این ستاره‌ها، در واقع ستاره‌هایی هستند که در راستای دید کهکشان M۳۳ قرار گرفته‌اند. محل این ستاره‌ها با شبیه‌سازی به دست می‌آید. با دادن مختصات کهکشان M۳۳ و زاویه دید به ابزاری به نام TRIEGAL (Girardi et al. ۲۰۰۵) فهرستی از قدر ستاره‌های زمینه به دست می‌آید. سپس با استفاده از این قدرها شاخص رنگی را محاسبه می‌کنیم و در نمودار CMD این ستاره‌ها را از سایر ستاره‌ها جدا می‌کنیم. مختصات کهکشانی در این محاسبات $L=133/61^\circ$ و $b=-31.33^\circ$ و زاویه دید یک درجه در نظر گرفته شده است. در شکل ۱۸، ستاره‌هایی که متعلق به کهکشان M۳۳ نیستند با مربع های سبز رنگ مشخص شده‌اند [۱۳].

در نمودار قدر رنگ شکل ۱۹ هم سن‌ها^۱ نیز رسم شده‌اند.

۱. Isochron



شکل ۱۹. (رنگی در نسخه الکترونیکی) نمودار قدر رنگ کهکشان M33 با خطوط هم سن.



شکل ۲۰. (رنگی در نسخه الکترونیکی) (راست) مقایسه محدوده تصویربرداری از کهکشان M33 در پروژه WFCAM (مرز بیرونی تصویر) و پروژه UIST. (چپ) مقایسه تعداد ستاره‌های تصویربرداری شده در پروژه‌های WFCAM (نقاط سیاه) UIST (نقاط زرد) 2MASS (نقاط سبز).

روی تلسکوپ UKIRT قرار دارد و از محدوده مرکزی کهکشان تصویربرداری کرده است. در شکل ۲۰ وسعت

مقایسه سه کاتالوگ 2MASS، UIST و WFCAM، که کار این تحقیق است را مشاهده کنید. UIST دوربین دیگری است که

جدول ۷. فهرست اولیه، شامل مختصات، قدر میانگین و خطای قدر میانگین همه ستاره‌ها.

شماره ستون	توضیحات
فهرست اولیه: شامل مختصات، قدر میانگین و خطای قدر میانگین همه ستاره‌ها	
۱	شماره دوربین
۲	محل دوربین
۳	شماره ستاره
۴	بعد
۵	میل
۶	میانگین قدر در فیلتر H
۷	خطا در فیلتر H
۸	تعداد اندازه‌گیری‌ها در فیلتر H
۹	میانگین قدر در فیلتر J
۱۰	خطا در فیلتر J
۱۱	تعداد اندازه‌گیری‌ها در فیلتر J
۱۲	میانگین قدر در فیلتر K
۱۳	خطا در فیلتر K
۱۴	تعداد اندازه‌گیری‌ها در فیلتر K

متفاوت به عنوان ستاره‌های یکسان در نظر گرفته شده‌اند را در بر دارد، این کاتالوگ برای بررسی ستاره‌های متغیر و همچنین توزیع ستاره‌ها در کهکشان مفید خواهد بود. جدول‌های ۷ و ۸ اطلاعات هر یک از این فهرست‌ها را نشان می‌دهد.

در نتیجه مقایسه فهرست‌های ستاره‌ای در مجموع برای فیلتر H، ۳۰۷ فهرست و ۳۷۲،۹۴۷ ستاره، برای فیلتر J، ۲۵۶ فهرست و ۳۵۰،۱۱۴ ستاره و برای فیلتر K، ۲۳۴ فهرست با ۲۸۶،۷۲۷ ستاره به دست آمد. که پس از یافتن و جابه‌جایی ستاره‌های مرزی در فیلتر H، ۳۶۹،۲۱۸ ستاره، در فیلتر J، ۳۴۸،۳۶۳ ستاره و در فیلتر K، ۲۸۴،۴۳۳ ستاره باقی ماندند. که در مجموع کاتالوگی با ۴۴۵،۳۰۳ ستاره ساخته شد.

محدوده این دو تصویربرداری برای مقایسه آورده شده است. در این تصویر محدوده مرکزی مربوط به دوربین UIST و محدوده بیرونی حاصل تصویربرداری WFCAM است.

۱۴. نتیجه‌گیری

فهرست ستاره‌های کهکشان M۳۳ که در این تحقیق ساخته شده، پس از شناسایی ستاره‌های متغیر در اختیار عموم قرار می‌گیرد. این فهرست از کامل‌ترین فهرست‌های ستاره‌ای از یک کهکشان مارپیچی است. اطلاعات موجود در دو فهرست مجزا خواهد آمد. فهرست اولیه شامل مختصات و قدر میانگین و خطای قدر میانگین همه ستاره‌ها است، و فهرست دوم که برای بررسی‌های دقیق‌تر ساخته شده اطلاعات منحنی نوری تک تک ستاره‌هایی که در تصویربرداری‌های

جدول ۸. فهرست جزییات، شامل اطلاعات تک تک ستاره‌ها است، این فهرست برای بررسی ستاره‌های متغیر و همچنین توزیع ستاره‌ها در کهکشان مفید است.

شماره ستون	توضیحات
فهرست جزییات	
۱	شماره دوربین
۲	محل دوربین
۳	شماره ستاره
۴	فیلتر
۵	بعد
۶	میل
۷	شماره ستاره در فهرست ۱
۸	قدر ستاره در فهرست ۱
۹	خطای قدر ستاره در فهرست ۱
۱۰	شماره ستاره در فهرست ۲
۱۱	قدر ستاره در فهرست ۲
۱۲	خطای قدر ستاره در فهرست ۲
۱۳	...
۱۴	میانگین قدر
۱۵	خطای قدر
۱۶	تعداد اندازه‌گیری‌ها

قدردانی

که بدون راهنمایی ایشان انجام این تحقیق میسر نبود بسیار سپاسگزارم.

از راهنمایی‌های گرانبقدر استاد بزرگوارم، دکتر جاکوب ون لون

مراجع

9. A Lawrence *et al.*, "The WFCAM/UKIDSS data archive: problems and Opportunities", Proc. SPIE (2007) 4836.
10. D C Wells, E W Greisen, and R H Harten, *Astronomy & Astrophysics Supplement Series* **44** (1981) 363
11. M Irwin, WFCAM Catalogue: VDF-SPE-IOA-00009-0001, **5** (2008).
12. WFCAM Technical Information, <http://casu.ast.cam.ac.uk/surveys-projects/wfcam/technical>.
13. L Girardi, M A T Groenewegen, E Hatziminaoglou, and L da Costa, *Astronomy & Astrophysics* **436** (2005) 895.
14. P Marigo, L Girardi, A Bressan, M A T Groenewegen, L Silva, and G L Granato, *Astronomy & Astrophysics* **482** (2008) 883.
15. E Rosolowsky and J D Simon, *The Astrophysical Journal* **675** (2008) 1213.
1. W L Freedman, C D Wilson, and B F Madore, *Astrophysical Journal* **372** (1991) 455.
2. E P Hubble, *Astrophysical Journal* **63** (1926) 236.
3. W L Freedman, C D Wilson, and B F Madore, *The Astrophysical Journal* **372** (1991) 455.
4. U Vivian, M A Urbaneja, R P Kudritzki, B A Jacobs, F Bresolin, and N Przybilla, *The Astrophysical Journal* **704** (2009) 1120.
5. J T Van Loon, A A Zijlstra, P A Whitelock, L B F M Waters, C Loup, and N R Trams, *Astronomy & Astrophysics* **325** (1997) 585.
6. J Th Van Loon *et al.*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **338** (2003) 857.
7. A Javadi, J T van Loon, and M T Mirtorabi, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **411** (2011) 263.
8. A Javadi, J T van Loon, and M T Mirtorabi, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **414** (2011) 3394.

Analysis of WFCAM images of M33 galaxy

N Golabtooni¹, M T Mirtorabi^{2,3}, A Javadi³, H Khosroshahi³, and H Hakimipazhooh²

1. Department of Physics Islamic, Azad University, Central Tehran Branch, Iran

2. Department of Physics, Azzahra University, Tehran, Iran

3. Institute for Research in Fundamental Sciences, Tehran, Iran

E-mail: jafari-ab@sci.sku.ac.ir

(Received 2 August 2012 ; in final form 6 May 2013)

Abstract

In this study, 1200 images and catalogues of M33 spiral galaxy taken by WFCAM camera at UKIRT telescope in J, H and K bands. Cross correlation methods were employed to identify stars in overlapping regions from among images taken in different dates. Careful astrometric and photometric analysis was made to calibrate stellar positions and magnitudes using their 2MASS near infra red survey. The final catalogue consisted of 445303 stars and covered more than 0.75 square degrees of sky centered on M33 core, which included the bulge and spiral arms. This is the biggest catalogue ever made from a nearby spiral galaxy in near infrared. A color magnitude diagram in near infrared was plotted, which shows a bunch of very red stars that extended to $J-K = 4$.

Keywords: M33 Galaxy, stars catalogue, cross correlation, photometry

For full article, refer to the Persian section