

« بنام آنکه جان را فکرت آموخت »

مجموعه مقالات

هشتمین کنفرانس مهندسی برق ایران

۲۸-۳۰ اردیبهشت ماه ۱۳۷۹

جلد اول

الکترونیک و کامپیوتر

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

شناسایی انسان از تصاویر نیمرخ چهره با استفاده از توصیفگرهای فوریه، کسینوس، و هارتلی

رضا صفابخش

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران ۱۵۹۱۴، ایران

تلفن ۶۴۱۹۴۱۱ فکس ۶۴۹۵۵۲۱

پست الکترونیک safa@ce.aku.ac.ir

ویدا موحدی

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران ۱۵۹۱۴، ایران

تلفن ۶۴۱۹۴۱۱ فکس ۶۴۹۵۵۲۱

پست الکترونیک: movahedi@ce.aku.ac.ir

چکیده

شناسایی چهره دارای کاربردهای زیادی در زمینه های تجاری، امنیتی، و قانونی است و در سالهای اخیر بسیار مورد توجه بوده است. در مواردی که میتوان تصاویر کنترل شده ای از اشخاص تهیه نمود برای مثال پایگاه تصاویر مجرمین در اداره پلیس - استفاده از تصاویر نیمرخ میتواند بسیار مفید باشد. همچنین میتوان از تصاویر نیمرخ بعنوان تصاویر کمکی برای شناسایی تصاویر تمام رخ استفاده نمود. در این مقاله سیستمی را برای شناسایی تصاویر نیمرخ مورد بررسی قرار داده ایم. تصاویر مورد استفاده تصاویر ثابت با نورپردازیها و اندازه های مختلف میباشد. شرایطی مانند وجود ریش یا سبیل، عینک، یا موی روی پیشانی نیز بررسی شده است. با استفاده از منحنی های نیمرخ استخراج شده از این تصاویر، توصیفگرهای فوریه، کسینوس، و هارتلی را برای شناسایی و بررسی اثر تغییرات در تصاویر مورد استفاده قرار داده ایم. میتوان گفت بهترین روش بطور کلی روش توصیفگرهای فوریه با فرض دو قطعه میباشد که نتایج شناسایی برای آن به ترتیب زیر است: بدون تغییرات شناسایی ۱۰۰٪ صحیح، با تغییر در نورپردازی شناسایی ۶۹/۵۶٪ صحیح، با تغییر در اندازه تصویر شناسایی ۷۶/۸۱٪ صحیح، با افزودن عینک شناسایی ۲۷/۵۴٪ صحیح، و با افزودن ریش شناسایی ۷۰٪ صحیح. واژه های کلیدی: شناسایی چهره، تصاویر نیمرخ، توصیفگرهای فوریه، توصیفگرهای تبدیل کسینوس گسسته، توصیفگرهای تبدیل هارتلی.

۱- مقدمه

شناسایی چهره انسان توسط ماشین یکی از موضوعات جالب توجه در علم کامپیوتر و هوش ماشین است که تحقیقاتی را در زمینه پردازش تصویر، شناسایی الگو، بینایی ماشین و شبکه های عصبی برانگیخته است. شناسایی چهره انسان توسط ماشین به این معنا است که با استفاده از پایگاه داده ذخیره شده از چهره هایی که به ماشین معرفی شده اند، ماشین بتواند یک یا چند نفر را در تصویر ثابت یا ویدیویی از یک صحنه شناسایی نماید. بنابراین مراحل انجام کار را میتوان به دو مرحله آموزش (یادگیری) و آزمایش (تست) تقسیم نمود. تقطیع^۱ یا جداسازی تصویر چهره از صحنه، استخراج ویژگیها از تصویر چهره، شناسایی، و تطبیق اعمالی هستند که احتمالاً در پیاده سازی سیستم مورد استفاده قرار میگیرند [۱].

تکنولوژی شناسایی چهره دارای کاربردهایی تجاری، امنیتی، و قانونی است. کاربرد آن از تطبیق تصاویری با حالات کنترل شده؛ مثل عکسهای مورد استفاده در پاسپورت، گواهینامه رانندگی، شناسنامه، و کارتهای اعتباری؛ تا تطبیق بلادرنگ تصاویر ویدیویی، که نیاز به پیش پردازشهای بیشتری دارند، متغیر میباشد [۱].

در مواردی که میتوان تصاویر کنترل شده ای از اشخاص تهیه نمود برای مثال پایگاه تصاویر مجرمین در اداره پلیس - استفاده از تصاویر نیمرخ میتواند بسیار مفید باشد. همچنین میتوان از تصاویر نیمرخ بعنوان تصاویر کمکی برای شناسایی تصاویر تمام رخ استفاده نمود. به این ترتیب که با استفاده از تصاویر نیمرخ جمعیتی را که در آن بدنال تصویر شخص خاصی هستیم کاهش میدهم و در مجموعه کوچک باقیمانده، روشهای شناسایی تصاویر تمام رخ را بکار میگیریم. تصاویر نیمرخ حاوی جزئیاتی از صورت هستند که در تصاویر تمام رخ قابل مشاهده نمیشاند. تصاویر نیمرخ اندازه و شکل بینی را بخوبی نشان میدهند [۱]. بعلاوه اگر تنها مرز یا لبه نیمرخ را در نظر بگیریم، با حذف جزئیات پیچیده داخل ناحیه صورت، یک آرایه نسبتاً کوچک دو بعدی و دودویی خواهیم داشت که ذخیره سازی و کار کردن با آن بسیار ساده تر است [۲]. بعلاوه با دوران تصاویر نیمرخ به اندازه ۹۰ درجه میتوان تصاویر نیمرخ را بصورت موج یا سیگنال آنالوگ دید [۲]. با نمونه برداری از این سیگنال میتوان آن را به یک سیگنال دیجیتال یا در حقیقت آرایه ای یک بعدی تبدیل نمود.

اما استفاده از تصاویر نیمرخ، علاوه بر فوایدی که ذکر شد، دارای معایبی نیز هست. مرز نیمرخ، که حاوی اطلاعات مفید است، پراحتی غیر قابل استفاده میگردد. میتوان این عوامل مخرب را نام برد: داشتن عینک، داشتن ریش یا سیل، موی ریخته روی پیشانی، حرکت لبها، حرکت آرواره ها، حرکت بافت نرم گلو بواسطه بلعیدن، و کامل نبودن نیمرخ (چرخش سر نسبت به حالت ایده آل). عوامل فوق هر یک ناحیه ای از منحنی نیمرخ مورد نظر را از بین میبرند و باعث میشوند الگوریتمهای شناسایی دچار مشکل شوند. بنابراین باید الگوریتمهایی برای شناسایی نوشته شوند که حتی الامکان نسبت به تغییرات فوق مستقل باشند.

اصول کار برای انجام عمل بازشناسی تصاویر نیمرخ به ترتیب زیر است. ابتدا مجموعه ای از تصاویر از مجموعه ای از افراد تهیه میشود. سپس مجموعه تصاویر فوق به دو دسته مجموعه آموزشی و مجموعه آزمایشی تقسیم میگردد. آموزش با مجموعه آموزشی صورت میگیرد، به این ترتیب که نمونه های آموزشی به سیستم معرفی میشوند. سیستم برای هر نمونه آموزشی یک بردار ویژگی محاسبه نموده، همراه با مشخصات صاحب تصویر که به سیستم داده میشود، ذخیره مینماید. در مواردی که برای هر فرد بیش از یک نمونه وجود دارد، معمولاً میانگینی از بردارهای ویژگی و اغلب انحراف معیار بردار ویژگی ذخیره میشود. با معرفی تمام نمونه های آموزشی مرحله آموزش به اتمام میرسد و پایگاه داده تکمیل میگردد. در مرحله آزمایش یا تست، نمونه (یا نمونه های) آزمایشی به سیستم ارایه شده، سیستم بردار ویژگی مربوط به تصویر را محاسبه مینماید. سپس با استفاده از یک معیار شباهت، یک بردار ویژگی در پایگاه داده پیدا میکند که به بردار ویژگی نمونه آزمایشی مشابه ترین باشد. مشخصاتی که به همراه آن بردار ویژگی در پایگاه داده ذخیره شده اند بعنوان مشخصات نمونه آزمایشی اعلام میشوند. گاهی نیز لیستی از مشابه ترینها بعنوان کاندیدهای ممکن اعلام میگردد. میتوان مراحل کار را بصورت شکل ۱ نشان داد.

سابقه یافتن ویژگیهای کمی در تصاویر نیمرخ به بیش از یک قرن پیش برمیگردد [۳]. در سال ۱۸۸۸ فردی بنام فرانسیس گالتون با استفاده از طولها، زوایا، و شعاعهای انحنای توصیفگرهای عددی برای توصیف کمی تصاویر نیمرخ نرمالیزه شده پیشنهاد و الگوریتمهایی برای بکارگیری این کمیتهای مطرح نمود. بعدها در دهه هفتاد ویژگیهای مشابه ویژگیهای گالتون توسط هارمون و همکارانش برای شناسایی کامپیوتری بکار گرفته شدند [۴،۳،۲]. در اواخر دهه هشتاد نیز هوانگ از ویژگیهای مشابه استفاده نمود [۵]. بموازات کار هارمون، کافمن نیز در دهه هفتاد از ویژگیهای خودهمبستگی و نامتغیرهای گشتاوری استفاده کرد [۶]. در دهه نود کار بر روی تصاویر نیمرخ از سر گرفته شد و عمدتاً شناسایی با استفاده از توصیفگرهای فوریه مورد نظر قرار گرفت [۷،۸،۹]. همچنین از تصاویر نیمرخ برای افزایش درصد صحت سیستمهای شناسایی تصاویر تمام رخ استفاده شد [۱۰]. تعدادی از این سیستمها با استفاده از شبکه های عصبی و منطق فازی طراحی شده اند [۱۱،۱۲،۱۳،۱۴].

روشهای بکار رفته برای بازشناسی تصاویر نیمرخ را میتوان بطور کلی به سه دسته تقسیم نمود:

- ۱- روشهایی که از ویژگیهای هندسی استفاده مینمایند. در این روشها ابتدا شاخصهایی مانند نوک بینی، چانه، پیشانی، و غیره روی منحنی نیمرخ مشخص میشوند. سپس از ویژگیهایی مانند فواصل، زوایا، و مساحتها بین شاخصها برای توصیف منحنی استفاده میشود.
- ۲- روشهایی که از ویژگیهای غیر هندسی استفاده مینمایند، مانند ضرایب خودهمبستگی^۱، نامتغیرهای گشتاوری^۲، و توصیفگرهای فوریه^۳.
- ۳- سایر روشها، مانند روشهایی که از شبکه های عصبی، گرافیک کامپیوتری و منطق فازی استفاده مینمایند، و در دو دسته فوق نمیگنجد.

در برخی از مطالعات انجام شده درصد صحت های مطلوبی گزارش شده است. ولی چند مورد را باید متذکر شد. اولاً در اکثر موارد تعداد تصاویری که سیستم بر روی آنها آزمایش شده، بسیار اندک است و میتوان گفت تقریباً هیچیک از بررسیها بر روی جامعه آماری صورت نگرفته است. ثانیاً شرایط تصاویر بسیار ایده آل هستند و با آنچه در واقعیت موجود است بسیار متفاوت میباشند. برای مثال در اکثر مطالعات شرایطی بصورت اندازه ثابت برای صورت، نورپردازی ثابت، نبودن مو روی پیشانی، نبودن ریش یا سبیل، ثابت بودن زاویه صورت و عدم چرخش به بالا، پایین، راست، یا چپ، و نبودن عینک گزارش شده است. ثالثاً در اکثر مطالعات بحث تقطیع مطرح نشده است. در تعدادی از مطالعات مرز صورت با دست جدا گشته و در تعدادی از آنها نورپردازی یا رنگ بنحوی انتخاب شده است که تقطیع بسیار آسان شود. برای مثال در تعدادی از روشها نور از سمت مقابل دوربین و پشت سر شخص تابیده میشود و به این ترتیب تصاویر ضدنور تهیه میشوند. رابعاً همانطور که در [۵] ذکر شده است، مسأله نژاد افرادی که تصویربرداری میشوند نیز مهم است و روی میزان تفاوتها و شباهتهای نیمرخها تأثیر میگذارد.

در این مقاله شناسایی افراد از روی تصاویر نیمرخ آنها را مورد بررسی قرار میدهم. تصاویر مورد استفاده تصاویر ثابت، با نورپردازیها و اندازه های مختلف میباشند. در مواردی نیز شرایطی را مانند وجود ریش یا سبیل، عینک، یا موی روی پیشانی خواهیم داشت. زمینه و محیط تصویر برداری کنترل شده میباشند. در بخش دوم چگونگی تهیه مجموعه تصاویر لازم را برای آموزش و آزمایش سیستم مطرح میکنیم. سپس در بخش سوم مراحل بدست آوردن منحنی نیمرخ را خواهیم آورد. در بخش چهارم سه روش شناسایی را بررسی کرده و در بخش پنجم نتیجه گیری خواهیم کرد.

۲- تهیه مجموعه تصاویر لازم

به منظور بررسی و انتخاب الگوریتمهای مناسب در مراحل مختلف شناسایی لازم است آنها را بر روی تصاویری آزمایش نماییم. تصاویری که به این منظور بکار برده میشوند باید بنحوی باشند که بتوانند نقاط ضعف و قدرت الگوریتمها را در شرایط مختلف نشان دهند و به همین دلیل انتخاب آنها از حساسیت برخوردار است. از آنجاییکه مجموعه استاندارد برای ارزیابی الگوریتمهای موردنظر ما وجود ندارد، تصاویر مناسبی تهیه نمودیم. این تصاویر در شرایط مختلف محیط و موضوع فراهم آورده شدند [۱۵].

برای تهیه تصاویر از ۷۰ نفر زن و مرد که اکثراً در محدوده سنی ۲۰ سال بودند دعوت کردیم تا تصویر برداری شوند. افراد جلوی یک پرده سفید نصب شده روی دیوار، روی یک صندلی، که مکانش نسبت به دوربین ثابت بود، نشسته و روبرو را نگاه می نمودند. به این ترتیب سعی بر این بود که حتی الامکان نیمرخ کامل آنها توسط دوربین تصویربرداری شود. از هر نفر شش تصویر بصورت نشان داده شده در شکل ۲ تهیه کردیم. تصاویر در سه حالت مختلف نورپردازی، سه اندازه مختلف، و یک حالت با عینک تهیه شدند. تغییر نور توسط پروژکتورها و تغییر اندازه با تغییر میزان تمرکز دوربین انجام شد. یک نمونه از تصاویر تهیه شده در شکل ۳ آورده شده است. از آنجاییکه تهیه تصاویر با ریش و بدون ریش بسیار سخت و معمولاً غیر قابل قبول برای افراد مورد تصویربرداری بود، تصمیم گرفتیم که تصاویر با ریش را بصورت مصنوعی و با اعمال نویز تهیه کنیم. البته حدود ۴۲٪ افراد تصویربرداری شده خودریش یا سبیل داشتند. بنابراین ده تصویر مصنوعی با استفاده از برنامه Paintbrush محیط Windows تهیه نمودیم. به اینصورت که با ابزار اسپری مانند آن برای تصاویری که صحیح شناسایی میشدند ریش درست کردیم. در آزمایشات مختلفی که در زیر بخشهای بعد انجام خواهد شد تصاویر تهیه شده به صور مختلف برای آموزش و آزمایش سیستم بکار خواهند رفت.

۳- استخراج مرز نیمرخ

برای اعمال الگوریتمها لازم است که ابتدا منحنی نیمرخ یا مرز بین ناحیه سر و زمینه تصویر را پیدا کنیم. برای اینکار ابتدا با استفاده از نمای افقی^۵ لبه های چپ و راست تصویر را که حاوی زمینه تصویر میباشند میبریم. سپس با استفاده از روش ماکزیمم واریانس تصاویر بریده شده را آستانه ای میکنیم. بطوریکه در تصاویر آستانه ای شده ناحیه سر سیاه و زمینه تصویر سفید شود. در انتها با استفاده از یک الگوریتم پیگیری پیرامون^۶ که مناسب تصاویرمان طراحی نموده ایم، منحنی نیمرخ را می یابیم [۱۵]. با استفاده از شاخصهای هندسی [۱۵] منحنی نیمرخ را بین برآمدگی پیشانی و شاخص گلو محدود مینماییم. به این ترتیب از اثرات موهای روی پیشانی و تغییرات شکل پایین منحنی بعلت وجود

پیراهن و لباس در امان خواهیم بود. این محدوده از نیمرخ را نمونه برداری میکنیم بطوریکه ۲۵۶ نقطه داشته باشیم. به این ترتیب منحنی را از نظر تعداد نقاط استاندارد میکنیم. در این مرحله برای هر تصویر مختصات ۲۵۶ نقطه را داریم و آماده هستیم که شناسایی را انجام دهیم.

۴- شناسایی

در این مقاله سه نوع ویژگی را برای شناسایی مورد بررسی قرار میدهم: توصیفگرهای تبدیل فوری، توصیفگرهای تبدیل کسینوس گسسته، و توصیفگرهای تبدیل هارتلی. برای هر یک از روشهای فوق پس از محاسبه بردار ویژگی در مرحله یادگیری، میانگین بردارهای ویژگی تصاویر آموزشی هر فرد در فایل یادگیری ذخیره میشود. در مرحله آزمایش یا شناسایی بردار ویژگی تصویر آزمایشی با روش نزدیکترین فاصله اقلیدسی با بردارهای فایل یادگیری مقایسه میشود. عبارتی معیار شباهت تابع زیر است:

$$E_j = |X - M_j| = \sum_{i=1}^N |x_{ij} - m_{ij}| \quad (1)$$

در رابطه فوق N ابعاد بردار ویژگی است. بردار M_j میانگین بردارهای ویژگی تصاویر آموزشی فرد j ام میباشد که در فایل یادگیری ذخیره شده است. بردار X بردار ویژگی تصویر آزمایشی میباشد. تصویر آزمایشی را متعلق به شخصی میدانیم که برای وی E_j کوچکترین باشد.

۴-۱ توصیفگرهای فوری

توصیفگرهای فوری از جمله بهینه ترین ویژگیها برای توصیف شکل اشیاء میباشد و در اکثر کاربردهای بینایی ماشین این توصیفگرها ویژگیهای متمایز کننده ای تشخیص داده شده اند. توصیفگرهای فوری برای یک تابع یک بعدی حقیقی گسسته بصورت زیر محاسبه میشوند. اگر فرض کنیم $f(j), j=0,1,\dots,n$ یک تابع حقیقی گسسته باشد داریم:

$$a(k) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} f(j) \exp[-i2\pi kj / N] \quad \text{for } k = 0,1,\dots,N-1 \quad (2)$$

پارامتر N کوچکترین توان دو بزرگتر از n است و $a(k)$ ضرایب فوریه میباشد. تابع $f(j)$ را میتوان با استفاده از ضرایب $a(k)$ بازسازی کرد:

$$f(j) = \sum_{k=0}^{N-1} a(k) \exp[i2\pi kj / N] \quad \text{for } j = 0,1,\dots,N-1 \quad (3)$$

از آنجاییکه ضرایب فرکانسهای بالای فوریه (یعنی $a(k)$ هایی که k برای آنها بزرگ است) جزئیات تابع و ضرایب فرکانسهای پایین فوریه شکل کلی تابع را نشان میدهند، میتوان از ضرایب فرکانسهای پایین برای توصیف تابع استفاده کرد. عبارتی میتوان از M ضریب اول برای بازسازی تقریبی تابع استفاده کرد [۸]:

$$f(j) \approx \sum_{k=0}^{M-1} a(k) \exp[i2\pi kj / N] \quad \text{for } j = 0,1,\dots,N-1 \quad (4)$$

ضرایب فوریه را میتوان برای توابع مختلط نیز بکار برد. فرض کنیم $w(j)$ یک تابع گسسته مختلط باشد. ضرایب فوریه تابع $w(j)$ بصورت زیر محاسبه میشوند [۷]:

$$a(k) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} w(j) \exp[-i2\pi kj / N] \quad \text{for } k = 0,1,\dots,N-1 \quad (5)$$

این توصیفگرها را میتوان به سه روش برای محاسبه بردار ویژگیهای منحنی های نیمرخ بکار برد:

الف) تبدیل فوریه با فرض دو بعدی بودن منحنی نیمرخ

در صورتیکه بخواهیم منحنی نیمرخ را با مختصات افقی وعمودی نقاط آن بیان کنیم، میتوانیم مختصات نقاط را بصورت مختلط Z

نشان دهیم، یعنی:

$$z(j) = x(j) + iy(j) \quad \text{for } j = 0,1,\dots,n \quad (6)$$

معمول است که از این تابع برای ساختن تابع مختلطی که نشان دهنده تغییر جهت منحنی است استفاده شود. عبارتی خواهیم داشت:

$$w(j) = [z(j+1) - z(j)] / |z(j+1) - z(j)| \quad (7)$$

میتوان از ضرایب فوریه این تابع مختلط برای توصیف منحنی نیمرخ استفاده کرد [۷].

برای بررسی اثر تغییرات مختلف تصاویر نیمرخ ورودی بر روی نرخ صحت شناسایی چند نوع تغییر را در نظر گرفتیم: تغییر در نورپردازی، تغییرات اندازه سر در تصویر، اضافه شدن عینک، و اضافه شدن ریش. در مرحله اول برای بررسی اثر تغییر نورپردازی در تصاویر، آموزش را یکبار با تصاویر ۳ (نور متوسط) انجام داده و درصد صحت شناسایی را برای تصاویر ۱ (نور کم) و تصاویر ۶ (نور زیاد) آزمایش نمودیم. بار دوم آموزش را با تصاویر ۱ و ۶ انجام دادیم و تصاویر ۳ را بعنوان نمونه آزمایشی در نظر گرفتیم. نتایج در جدول ۱ آورده شده اند. در مرحله دوم اثر تغییر اندازه را بررسی نمودیم. برای اینکار یکبار آموزش با تصاویر ۳ (اندازه متوسط) را با تصاویر ۲ (اندازه کوچک) و تصاویر ۴ (اندازه بزرگ) آزمایش کردیم. بار دیگر از تصاویر ۲ و ۴ برای یادگیری و از تصاویر ۳ برای آزمایش استفاده کردیم. نتایج حاصل در جدول ۲ آمده اند. در مرحله سوم برای بررسی اثر عینک از آموزش با تصاویر سوم (اندازه متوسط، نور متوسط) استفاده نموده، آزمایش را با تصاویر ۵ (با عینک) انجام دادیم. نتایج این آزمایش در جدول ۳ آورده شده اند. از آنجاییکه نمونه های تصاویر با ریش را با اعمال نویز روی تصاویر ۴ بدست آورده ایم، برای بررسی اثر ریش آموزش را با تصاویر ۴ انجام داده، نتایج شناسایی را برای تصاویر با ریش در نظر گرفتیم. نتایج در جدول ۴ آمده اند. جهت امکان مقایسه با [۱۶]، در جداول ۱ تا ۴ بعد بردار ویژگی ۸ می باشد، بعبارتی از ۸ عدد مختلط یا ۱۶ عدد حقیقی برای توصیف منحنی نیمرخ استفاده کرده ایم.

ب) تبدیل فوریه با فرض یک بعدی بودن منحنی نیمرخ

برای حفظ روند تغییر جهت منحنی لازم نیست تابع را دوبعدی یا بصورت مختلط ببینیم. بین هر نقطه و نقطه بعدی روی منحنی میتوان یک پاره خط فرض کرد. کسینوس زاویه ای که این پاره خط با سطح افق میسازد نحوه تغییر جهت منحنی را نشان میدهد. کسینوس زوایای پاره خطهای بین نقاط متعدد منحنی تشکیل یک تابع حقیقی گسسته میدهند که میتوان ضرایب فوریه آن را بعنوان ویژگیهای منحنی نیمرخ محاسبه کرد [۸]. برای آزمایشاتی مشابه آزمایشات فوق نتایجی بدست آوردیم که در جداول ۱ تا ۴ آورده شده اند. با توجه به [۱۴] نتایج را برای بردار ویژگی به ابعاد ۳۴ عدد مختلط نیز بررسی نموده ایم.

ب) تبدیل فوریه برای قطعات منحنی نیمرخ

میتوان توصیفگرهای فوریه با فرض یک بعدی بودن منحنی نیمرخ را روی قطعات منحنی نیمرخ محاسبه کرد [۹]. بعبارتی ابتدا منحنی نیمرخ را به قطعاتی تقسیم میکنیم و سپس توصیفگرهای فوریه را برای قطعات منحنی نیمرخ محاسبه مینماییم. مزیت این روش این است که خراب شدن یک قسمت از منحنی نیمرخ در اثر عواملی مانند عینک، ریش، یا سیل تنها روی ضرایب فوریه آن قطعه اثر میگذارد و سایر ضرایب صحیح محاسبه میشوند. میتوان قطعات منحنی نیمرخ را با توجه به شاخصهای هندسی تعریف کرد، برای مثال قطعه برآمدگی پیشانی- زیربینی و قطعه زیربینی-چانه را در نظر گرفت، و یا اینکه منحنی را به قطعات مساوی تقسیم نمود. در آزمایشاتی که انجام دادیم از روش دوم استفاده کردیم و محاسبه ضرایب را بگونه ای در نظر گرفتیم که در هر روش در کل ۸ عدد مختلط برای توصیف منحنی نیمرخ داشته باشیم. نتایج در جداول ۱ تا ۴ آورده شده اند.

با توجه به جداول فوق میتوان نتایج زیر را در مورد تشخیص نیمرخ با استفاده از توصیفگرهای فوریه بیان نمود:

۱- چنانچه در هر یک از روشهای فوق بتوان تصویربرداری را از نظر نور و اندازه تصویر و ثابت بودن وضعیت چهره از جهت عینک و ریش و سیل کنترل نمود، بطوریکه تغییرات این مشخصه ها در تصاویر مختلف هر فرد حداقل باشد، میتوان چهره انسان را از روی تصاویر نیمرخ با نرخ بسیار بالای صحیح شناسایی کرد.

۲- تغییر در نورپردازی تصاویر مختلف یک فرد موجب کاهش نرخ شناسایی صحیح میشود. این کاهش برای روش دوبعدی بسیار شدیدتر است.

۳- تغییر در اندازه تصویر سر باعث کاهش زیاد نرخ شناسایی صحیح میشود، اما این تاثیر کمتر از تاثیر تغییر نورپردازی است. در اینحالت بهتر است تصاویر با اندازه های مختلف برای آموزش بکار گرفته شود.

۴- اضافه شدن عینک نیز در تصاویر آزمایشی نرخ شناسایی را شدیداً کاهش میدهد. به نظر میرسد افزایش قطعات منحنی سبب کاهش اثر عینک بر روی ویژگیهای محاسبه شده میشود.

۵- اضافه شدن ریش و سیل در تصاویر آزمایشی نیز منجر به کاهش نرخ شناسایی میشود، گرچه این کاهش باندازه حالتی که عینک اضافه شود نیست و بسته به شکل ریش و سیل میتواند تاثیرات منفی کمتر یا بیشتر بگذارد. فرض دو بعدی به خوبی دو روش دیگر عمل نمیکند.

۶- افزایش ابعاد بردار ویژگی در روش یک بعدی الزاماً منجر به افزایش نرخ شناسایی نمیشود و بلکه در برخی از موارد کاهش نرخ شناسایی را نیز بدنبال داشته است. هارمون [۴] اثبات نموده است که تقریباً ۱۵ ویژگی برای توصیف منحنی نیمرخ بهینه است.

۷- افزایش قطعات منحنی نیز الزاماً نتایج بهتری نمیدهد. تنها در مواردی مانند وجود عینک افزایش قطعات سبب میشود که عینک روی مقدار ضرایب تعدادی از قطعات اثر بگذارد و بقیه صحیح محاسبه شوند.

۲-۴ توصیفگرهای تبدیل کسینوس گسسته

تبدیل کسینوس گسسته بسیار شبیه تبدیل فوریه است و میتوان با داشتن ضرایب یکی از این دو تبدیل، ضرایب دیگری را بدست آورد. برای یک تابع حقیقی ضرایب تبدیل کسینوس گسسته حقیقی میباشند. این تبدیل برای یک تابع حقیقی گسسته $f(x)$ بصورت زیر محاسبه میشود [۱۷]:

$$c(0) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \quad (8)$$

$$c(u) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right) \quad \text{for } u = 1, \dots, N-1 \quad (9)$$

میتوان به جای تبدیل فوریه، از تبدیل کسینوس گسسته برای محاسبه ویژگیها استفاده نمود. برای اینکار مشابه روش فوریه، تابعی حقیقی و یک بعدی با استفاده از کسینوس زوایای بین نقاط متعدد منحنی نیمرخ میسازیم. سپس تبدیل کسینوس گسسته را بر این تابع اعمال میکنیم و از ۱۶ ضریب بدست آمده اول برای ساخت بردار ویژگی بهره میبریم. نتایج استفاده از این ضرایب در جداول ۵ تا ۸ آورده شده است.

با بررسی نتایج فوق و مقایسه با حالت یک بعدی فوریه نکات زیر حاصل میشود:

۱- روش کسینوس نیز مانند روش فوریه در صورت حداقل بودن تغییرات تصاویر یک فرد نرخ شناسایی صحیح بسیار بالایی از خود نشان میدهد.

۲- تغییرات نورپردازی تصویر عملکرد روش کسینوس را نیز مانند روش فوریه خراب میکند، ولی نتایج در روش کسینوس کمی بدتر هستند.

۳- تغییرات اندازه سر نیز عملکرد روش کسینوس را مانند روش فوریه تحت تاثیر قرار داده، تضعیف میکند، ولی نتایج در روش کسینوس کمی بدتر هستند.

۴- اضافه شدن عینک در تصاویر آزمایشی در روش کسینوس و روش فوریه نتایج یکسان میدهد.

۵- با اضافه شدن ریش در تصاویر آزمایشی، روش کسینوس مانند روش فوریه عمل کرده است.

۳-۴ توصیفگرهای تبدیل هارتلی

تبدیل هارتلی یک تبدیل، مانند تبدیل کسینوس، یک تبدیل حقیقی است که نسبت به تبدیلات فوق به تازگی مطرح شده و به خاطر خواص محاسباتی مورد توجه قرار گرفته است [۱۸]. با توجه به [۱۸] میتوان از تبدیل هارتلی مانند تبدیل فوریه برای محاسبه ضرایب ویژگی با فرض دوبعدی بودن منحنی نیمرخ استفاده کرد. ولی با توجه به اینکه محاسبه ضرایب فوریه با فرض یک بعدی بودن منحنی بهتر از فرض دو بعدی جواب میدهد، در اینجا نیز تبدیل هارتلی را بر تابعی حقیقی و یک بعدی که از کسینوس زوایای بین نقاط متعدد منحنی نیمرخ بدست می آید، اعمال میکنیم. تبدیل هارتلی برای یک تابع حقیقی گسسته $f(x)$ بصورت زیر محاسبه میشود [۱۹]:

$$h(k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \cdot \left[\cos\left(\frac{2\pi kx}{N}\right) + \sin\left(\frac{2\pi kx}{N}\right) \right] \quad \text{for } k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (10)$$

با استفاده از رابطه فوق میتوان ۱۶ ضریب اول تبدیل را برای توصیف منحنی نیمرخ بکار برد. نتایج استفاده از این ضرایب در جداول ۵ تا ۸ آمده اند.

با بررسی نتایج فوق و مقایسه با حالت یک بعدی فوریه نکات زیر حاصل میشود:

۱- روش هارتلی نیز مانند روش فوریه در صورت حداقل بودن تغییرات تصاویر یک فرد نرخ شناسایی صحیح بسیار بالایی از خود نشان میدهد.

۲- تغییرات نورپردازی تصویر عملکرد روش کسینوس را نیز مانند روش فوریه خراب میکند، ولی نتایج در روش هارتلی بدتر هستند.

۳- تغییرات اندازه سر نیز عملکرد روش کسینوس را مانند روش فوریه تحت تاثیر قرار داده، تضعیف میکند، ولی نتایج در روش هارتلی بدتر هستند.

۴- با اضافه شدن عینک در تصاویر آزمایشی، روش هارتلی بدتر از روش فوریه عمل کرده است.

۵- اضافه شدن ریش در تصاویر آزمایشی در روش هارتلی مانند روش فوری نتیجه میدهد.

نتایج حاصل از روشهای مورد بحث برای بردار ویژگی به طول ۱۶ عدد حقیقی یا ۸ عدد مختلط را میتوان بشرح زیر خلاصه نمود:

- ۱- در مواردیکه تغییراتی در تصویر نداریم، همه روشها بسیار خوب عمل میکنند و نرخ شناسایی ۱۰۰٪ صحیح را میدهند.
- ۲- در مواردیکه تغییر نورپردازی در تصویر داریم، ترتیب روشها از بهترین به بدترین بصورت توصیفگرهای فوری با فرض دو قطعه، توصیفگرهای فوری با فرض چهارقطعه، توصیفگرهای کسینوس، توصیفگرهای فوری یک بعدی، توصیفگرهای هارتلی، و توصیفگرهای فوری دو بعدی میباشد. در اینحالت بهترین نتیجه شناسایی ۶۹/۵۶٪ است.
- ۲- در مواردیکه تغییر اندازه سر در تصویر داریم، ترتیب روشها از بهترین به بدترین بصورت توصیفگرهای فوری با فرض دو قطعه، توصیفگرهای فوری با فرض چهارقطعه، توصیفگرهای فوری یک بعدی، توصیفگرهای کسینوس، توصیفگرهای هارتلی، و توصیفگرهای فوری دو بعدی میباشد. در اینحالت بهترین نتیجه شناسایی ۷۶/۸۱٪ است.
- ۳- در مواردیکه عینک در تصویر داریم، ترتیب روشها از بهترین به بدترین بصورت توصیفگرهای فوری با فرض چهارقطعه، توصیفگرهای فوری با فرض دو قطعه، توصیفگرهای فوری یک بعدی و توصیفگرهای کسینوس، توصیفگرهای هارتلی، و توصیفگرهای فوری دو بعدی میباشد. در اینحالت بهترین نتیجه شناسایی ۳۰/۸۸٪ است.
- ۴- در مواردیکه ریش وجود دارد، همه روشها تقریباً یکسان جواب میدهند. در اینحالت بهترین نتیجه شناسایی ۷۰٪ است. بنابراین میتوان گفت بهترین روش بطور کلی روش توصیفگرهای فوری با فرض دو قطعه میباشد.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا ۷۰ نفر در شرایط نورپردازیها و اندازه های مختلف و با افزودن عینک و ریش تصاویری تهیه نمودیم. از منحنی نیمرخ در این تصاویر، که پس از آستانه ای کردن و یافتن پیرامون بدست می آید، برای شناسایی بروشهای فوری، کسینوس، و هارتلی استفاده کردیم. آزمایشات نشان میدهند که در صورت حداقل بودن تغییرات تصاویر یک فرد نرخ شناسایی بسیار بالا است. اما تغییرات نورپردازی و تغییرات اندازه سر نتایج را تضعیف میکنند. با توجه به نتایج بدست آمده و نتایج [۱۶] میتوان گفت بهترین روش بطور کلی روش توصیفگرهای فوری با فرض دو قطعه میباشد که نتایج شناسایی برای آن به ترتیب زیر است: بدون تغییرات شناسایی ۱۰۰٪ صحیح، با تغییر در نورپردازی شناسایی ۶۹/۵۶٪ صحیح، با تغییر در اندازه تصویر شناسایی ۷۶/۸۱٪ صحیح، با افزودن عینک شناسایی ۲۷/۵۴٪ صحیح، و با افزودن ریش شناسایی ۷۰٪ صحیح. استفاده از تصاویر نیمرخ به همراه تصاویر تمام رخ بسیار مطلوب است. روشهای شناسایی یکمک تصاویر تمام رخ اغلب پیچیده تر و زمانگیرتر از روشهای شناسایی نیمرخ میباشد. بنابراین میتوان با استفاده از تصاویر نیمرخ مجموعه تصاویری را که جستجو در آن صورت میگیرد کوچک نمود و در مجموعه کوچک شده الگوریتمهای شناسایی تمام رخ را اعمال کرد.

مراجع

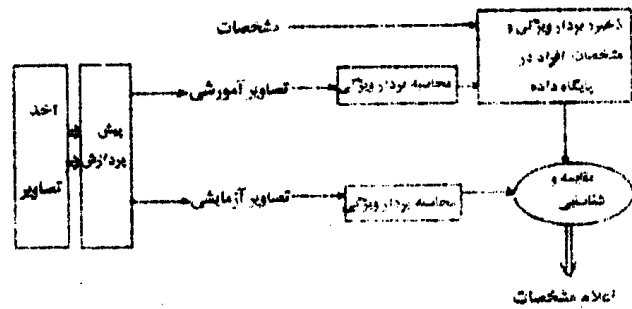
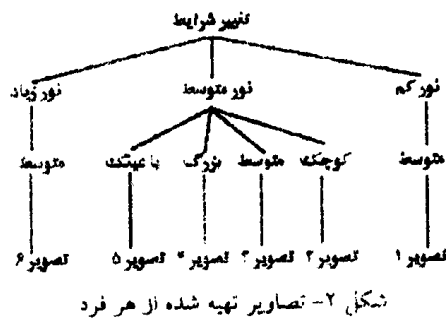
- [1] Chellappa, R., Wilson, C.L., Sirohey, S. (1995), "Human and machine recognition of faces: A survey", *Proceedings of the IEEE*, vol. 83, no. 5, pp. 704-740.
- [2] Harmon, L.D. and Hunt, W.F. (1977), "Automatic recognition of human face profiles", *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 6, pp. 135-156.
- [3] Harmon, L.D., Kuo, S.C., Ramig, P.F., Raudkivi, U. (1978), "Identification of human face profiles by computer", *Pattern Recognition*, vol. 10, pp. 301-312.
- [4] Harmon, L.D., Khan, M.K., Lasch, R., Ramig, P.F. (1981), "Machine identification of human faces", *Pattern Recognition*, vol. 13, no. 2, pp. 97-110.
- [5] Wu, C.J. and Huang, J.S. (1990), "Human face profile recognition by computer", *Pattern Recognition*, vol. 23, no. 3, pp. 255-259.
- [6] Kaufman, G.J. and Breeding, K.J. (1976), "The automatic recognition of human faces from profile silhouettes", *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, vol. SMC-6, no. 2, pp. 113-121.
- [7] Aibara, T., Ohue, K., Oshita, Y. (1994), "Human face profile recognition by a P-Fourier descriptor", *IEEE - International conference on Image processing*, IEEE, Los Alamitos, CA, USA, vol. 1, pp. 292-295.

- [8] Somaie, A.A. and Ipson, S.S. (1995), "A human face profile identification system using 1-D real fourier descriptors", *International Journal of Infrared and Millimeter waves*, vol. 16, no. 8, pp. 1285-1298.
- [9] Shingai, H and Takiyama, R. (1996), "Individual identification by unifying profiles and full faces", *IEICE Transaction on Information and Systems*, vol. E79-D, no. 9, pp. 1274-1278.
- [10] Ip, H.H.S and Ng, J.M.C. (1994), "Human face recognition using Dempster-Shafer theory", *IEEE International conference on Image processing*, IEEE, Los Alamitos, CA, USA, vol. 1, pp. 292-295.
- [11] Starkey, R.B. and Aleksander, I., *IEE Colloquium (Digest)*, IEE, Stevenage, UK, no. 087, 2p
- [12] Payne, T.L., Solheim, I., Castain, R. (1992), "The potentials in using backpropagation neural networks for facial verification systems", *Simulation*, vol. 58, no. 5, pp. 306-310.
- [13] Fukuda, T., Ito, S., Arai, F. (1993), "Recognition of human face using fuzzy inference and neural network", *Transactions of the Japan society of mechanical engineers, part C*, vol. 59, n. 568, pp. 200-206.
- [14] Johnson, E.A. and Wu, C.J. (1994), "A real-time fuzzy logic-based neural facial feature extraction technique", *IEEE International conference on Fuzzy systems*, vol. 1, pp. 268-273.

[15] م. حدادی، زیاده شناسایی تصاویر نیم رخ انسان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده کامپیوتر، شهریور ۱۳۷۷

[16] صفایانخانی، رضا و موحدی، ویلدا، شناسایی چهره انسان از تصاویر نیم رخ با استفاده از ضرایب خود همبستگی و ویژگیهای هندسی، ارائه شده به پنجمین کنفرانس انجمن کامپیوتر ایران.

- [17] Gonzalez, R.C. and Wintz, P. (1987), *Digital image processing*, second edition, Addison-Wesley, USA
- [18] Legrand, L., Khalil, K. and Dipanda, A. (1995), "Representing plane closed curves with hartley descriptors", *Proc. of Int'l Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 344-347.
- [19] Bracewell, R.N (1986). *The Hartley Transform*. Oxford University Press, NY, USA



شکل ۱- مراحل کار بازنشاسی تصاویر نیم رخ (با استفاده از ویژگیها)



تصویر ۱



تصویر ۲



تصویر ۳



تصویر ۴



تصویر ۵



تصویر ۶

شکل ۳- نمونه تصاویر تهیه شده

- Segmentation
- Auto Correlation coefficients
- Moment invariants
- Fourier descriptors
- Horizontal projection
- Boundary detection

جدول ۱- بررسی اثر تغییر نورپردازی در شناسایی بروش توصیفگرهای فوری

| درصد شناسایی | درصد متوسط | درصد متوسط آموزش | درصد شناسایی برای تصویر ۶ | درصد شناسایی برای تصویر ۱ | درصد شناسایی برای تصویر ۳ | روش |
|--------------|------------|------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| کل | ۵۲/۶۲ | ۳۰/۳۳ | ۳۱/۸۸ | ۲۸/۹۸ | ۱۰۰ | آموزش با تصویر ۳ (اندازه متوسط، نور متوسط)، با ۸ عدد مختلط، فرض درمندی |
| ۲۶۰/۳۹ | ۳۶/۳۳ | ۳۹/۳۹ | ۳۹/۵۶ | ۳۵/۲۲ | ۳۶/۳۳ | آموزش با تصاویر ۱ و ۶ (اندازه متوسط، نور کم و نور زیاد)، با ۸ عدد مختلط، فرض درمندی |
| ۲۷۱/۵۰ | ۵۷/۱۵ | ۱۰۵/۱۰۷ | ۱۰۵/۱۰۷ | ۵۹/۴۲ | ۱۰۰ | آموزش با تصویر ۳ (اندازه متوسط، نور کم و نور زیاد)، با ۸ عدد مختلط، فرض یک بعدی |
| ۲۸۷/۸۸ | ۵۹/۴۲ | ۱۰۶/۹۶ | ۱۰۶/۹۶ | ۱۰۶/۹۶ | ۵۹/۴۲ | آموزش با تصاویر ۱ و ۶ (اندازه متوسط، نور کم و نور زیاد)، با ۸ عدد مختلط، فرض یک بعدی |
| ۲۶۱/۳۵ | ۴۲/۱۰۳ | ۱۰۰ | ۳۷/۴۸ | ۲۶/۳۸ | ۱۰۰ | آموزش با تصویر ۳ (اندازه متوسط، نور متوسط)، با ۳۴ عدد مختلط، فرض یک بعدی |
| ۱۸۳/۵۷ | ۵۳/۶۲ | ۹۸/۵۵ | ۹۸/۵۵ | ۹۸/۵۵ | ۵۳/۶۲ | آموزش با تصاویر ۱ و ۶ (اندازه متوسط، نور کم و نور زیاد)، با ۳۴ عدد مختلط، فرض یک بعدی |
| ۱۷۲/۹۵ | ۱۰۱ | ۱۰۱ | ۵۳/۶۲ | ۳۵/۲۲ | ۱۰۰ | آموزش با تصویر ۳ (اندازه متوسط، نور متوسط)، با ۸ عدد مختلط، با فرض دو قطعه |
| ۲۸۳/۰۹ | ۳۹/۵۶ | ۱۰۶ | ۱۰۶ | ۹۱/۳۰ | ۶۹/۵۶ | آموزش با تصاویر ۱ و ۶ (اندازه متوسط، نور کم و نور زیاد)، با ۸ عدد مختلط، با فرض دو قطعه |
| ۲۷۱/۰۱ | ۵۶/۵۲ | ۱۰۰ | ۵۱/۳۷ | ۳۲/۳۲ | ۱۰۰ | آموزش با تصویر ۳ (اندازه متوسط، نور متوسط)، با ۸ عدد مختلط، با فرض چهار قطعه |
| ۱۸۲/۵۷ | ۳۹/۵۶ | ۱۰۵/۵۸ | ۱۰۶/۹۶ | ۹۶/۲۰ | ۶۹/۵۶ | آموزش با تصاویر ۱ و ۶ (اندازه متوسط، نور کم و نور زیاد)، با ۸ عدد مختلط، با فرض چهار قطعه |

جدول ۲- بررسی اثر تغییر اندازه سر در تصویر در شناسایی بروش توصیفگرهای فوری

| درصد شناسایی | درصد متوسط | درصد متوسط آموزش | درصد شناسایی برای تصویر ۲ | درصد شناسایی برای تصویر ۳ | درصد شناسایی برای تصویر ۴ | روش |
|--------------|------------|------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| کل | ۳۹/۷۰ | ۳۹/۳۲ | ۳۳/۸۲ | ۳۵/۵۹ | ۱۰۰ | آموزش با تصویر ۳ (نور متوسط، اندازه متوسط)، با ۸ عدد مختلط، فرض درمندی |
| ۲۶۰/۳۹ | ۳۹/۱۳ | ۳۹/۳۲ | ۳۶/۵۹ | ۳۶/۵۹ | ۳۹/۱۳ | آموزش با تصاویر ۲ و ۴ (نور متوسط، اندازه کوچک و بزرگ)، با ۸ عدد مختلط، فرض درمندی |
| ۲۷۹/۰۲ | ۳۹/۱۳ | ۱۰۰ | ۳۶/۵۹ | ۳۶/۵۹ | ۱۰۰ | آموزش با تصویر ۲ (نور متوسط، اندازه متوسط)، با ۸ عدد مختلط، فرض یک بعدی |
| ۲۸۶/۳۳ | ۳۹/۱۳ | ۳۹/۱۳ | ۳۶/۵۹ | ۳۶/۵۹ | ۱۰۰ | آموزش با تصاویر ۲ و ۴ (نور متوسط، اندازه کوچک و بزرگ)، با ۸ عدد مختلط، فرض یک بعدی |
| ۱۶۷/۳۳ | ۵۰/۷۴ | ۱۰۰ | ۵۲/۹۲ | ۳۸/۵۳ | ۱۰۰ | آموزش با تصویر ۳ (نور متوسط، اندازه متوسط)، با ۳۳ عدد مختلط، فرض یک بعدی |
| ۲۸۶/۸۳ | ۳۲/۳۷ | ۹۸/۵۳ | ۹۷/۰۶ | ۱۰۰ | ۳۲/۳۷ | آموزش با تصاویر ۲ و ۴ (نور متوسط، اندازه متوسط)، با ۸ عدد مختلط، با فرض دو قطعه |
| ۱۸۰/۸۸ | ۳۷/۳۳ | ۱۰۰ | ۳۶/۱۲ | ۳۶/۵۳ | ۱۰۰ | آموزش با تصاویر ۲ و ۴ (نور متوسط، اندازه کوچک و بزرگ)، با ۳۳ عدد مختلط، فرض یک بعدی |
| ۱۸۸/۲۹ | ۳۶/۸۱ | ۳۶/۱۲ | ۳۶/۱۲ | ۳۶/۱۲ | ۳۶/۸۱ | آموزش با تصاویر ۲ و ۴ (نور متوسط، اندازه کوچک و بزرگ)، با ۸ عدد مختلط، با فرض دو قطعه |
| ۱۸۱/۳۶ | ۳۲/۰۶ | ۱۰۰ | ۳۷/۵۹ | ۳۳/۵۳ | ۱۰۰ | آموزش با تصویر ۳ (نور متوسط، اندازه متوسط)، با ۸ عدد مختلط، با فرض چهار قطعه |
| ۱۸۲/۳۹ | ۳۵/۳۶ | ۳۸/۹۷ | ۳۶/۱۵۵ | ۱۵۵/۱۹ | ۳۵/۳۶ | آموزش با تصاویر ۲ و ۴ (نور متوسط، اندازه کوچک و بزرگ)، با ۸ عدد مختلط، با فرض چهار قطعه |

جدول ۳- بررسی اثر وجود عینک در شناسایی بروش توصیفگرهای فوریه

| روش | درصد شناسایی برای تصویر ۳ | درصد شناسایی برای تصویر ۵ | درصد شناسایی کل |
|---|---------------------------|---------------------------|-----------------|
| آموزش با تصویر ۳، با ۸ عدد مختلط، فرض دوبعدی | ٪۱۰۰ | ٪۱۵/۹۴ | ٪۵۷/۹۷ |
| آموزش با تصویر ۳، با ۸ عدد مختلط، فرض یک بعدی | ٪۱۰۰ | ٪۲۶/۰۹ | ٪۶۳/۰۴ |
| آموزش با تصویر ۳، با ۳۵ عدد مختلط، فرض یک بعدی | ٪۱۰۰ | ٪۲۴/۶۴ | ٪۶۲/۳۲ |
| آموزش با تصویر ۳، با ۸ عدد مختلط، با فرض دو قطه | ٪۱۰۰ | ٪۲۷/۵۲ | ٪۶۳/۷۷ |
| آموزش با تصویر ۳، با ۸ عدد مختلط، با فرض چهار قطه | ٪۱۰۰ | ٪۳۰/۸۸ | ٪۶۵/۲۲ |

جدول ۴- بررسی اثر وجود ریش در شناسایی بروش توصیفگرهای فوریه

| روش | درصد شناسایی برای تصویر ۴ | درصد شناسایی برای تصویر با ریش | درصد شناسایی کل |
|---|---------------------------|--------------------------------|-----------------|
| آموزش با تصویر ۴، با ۸ عدد مختلط، فرض دوبعدی | ٪۱۰۰ | ٪۷۰ | ٪۸۵ |
| آموزش با تصویر ۴، با ۸ عدد مختلط، فرض یک بعدی | ٪۱۰۰ | ٪۷۰ | ٪۸۵ |
| آموزش با تصویر ۴، با ۲۴ عدد مختلط، فرض یک بعدی | ٪۱۰۰ | ٪۸۰ | ٪۹۰ |
| آموزش با تصویر ۴، با ۸ عدد مختلط، با فرض دو قطه | ٪۱۰۰ | ٪۷۰ | ٪۸۵ |
| آموزش با تصویر ۴، با ۸ عدد مختلط، با فرض چهار قطه | ٪۱۰۰ | ٪۶۰ | ٪۸۰ |

جدول ۵- بررسی اثر تغییر نورپردازی در شناسایی بروش توصیفگرهای کینوس و هارتلی با بردار ویژگی بطول ۱۶ عدد حقیقی

| روش | درصد شناسایی برای تصویر ۳ | درصد شناسایی برای تصویر ۱ | درصد شناسایی برای تصویر ۶ | درصد شناسایی متوسط برای تصاویر آموزشی | درصد شناسایی متوسط برای تصاویر آزمایشی | درصد شناسایی کل |
|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|-----------------|
| آموزش با تصویر ۳، روش کینوس | ٪۱۰۰ | ٪۵۹/۵۲ | ٪۵۳/۶۲ | ٪۱۰۰ | ٪۵۶/۵۲ | ٪۷۱/۰۱ |
| آموزش با تصاویر ۱ و ۶، روش کینوس گسته | ٪۶۵/۲۲ | ٪۸۴/۰۶ | ٪۸۲/۶۱ | ٪۸۳/۳۳ | ٪۶۵/۲۲ | ٪۷۷/۲۹ |
| آموزش با تصویر ۳، روش هارتلی | ٪۱۰۰ | ٪۵۰/۷۲ | ٪۴۶/۳۸ | ٪۱۰۰ | ٪۲۸/۵۵ | ٪۶۵/۷۰ |
| آموزش با تصاویر ۱ و ۶، روش هارتلی | ٪۴۹/۲۷ | ٪۸۲/۶۱ | ٪۷۸/۲۶ | ٪۸۰/۴۳ | ٪۲۹/۲۷ | ٪۷۰/۰۵ |

جدول ۶- بررسی اثر تغییر اندازه سر در تصویر در شناسایی بروش توصیفگرهای کینوس و هارتلی با بردار ویژگی بطول ۱۶ عدد حقیقی

| روش | درصد شناسایی برای تصویر ۳ | درصد شناسایی برای تصویر ۲ | درصد شناسایی برای تصویر ۴ | درصد شناسایی متوسط برای تصاویر آموزشی | درصد شناسایی متوسط برای تصاویر آزمایشی | درصد شناسایی کل |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|-----------------|
| آموزش با تصویر ۳، روش کینوس | ٪۱۰۰ | ٪۶۳/۲۳ | ٪۶۱/۷۶ | ٪۱۰۰ | ٪۶۲/۵۰ | ٪۷۵/۱۲ |
| آموزش با تصاویر ۲ و ۴، روش کینوس | ٪۶۹/۵۶ | ٪۹۴/۱۲ | ٪۹۲/۶۵ | ٪۹۳/۳۸ | ٪۶۹/۵۶ | ٪۸۵/۳۶ |
| آموزش با تصویر ۳، روش هارتلی | ٪۱۰۰ | ٪۵۰/۰۰ | ٪۵۸/۸۲ | ٪۱۰۰ | ٪۵۴/۴۱ | ٪۶۹/۷۶ |
| آموزش با تصاویر ۲ و ۴، روش هارتلی | ٪۵۷/۹۷ | ٪۹۵/۵۹ | ٪۸۶/۷۶ | ٪۹۱/۱۸ | ٪۵۷/۹۷ | ٪۸۰/۰۰ |

جدول ۷- بررسی اثر وجود عینک در شناسایی بروش توصیفگرهای کینوس گسته و هارتلی

| روش | درصد شناسایی برای تصویر ۳ | درصد شناسایی برای تصویر ۵ | درصد شناسایی کل |
|------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|
| آموزش با تصویر ۳، روش کینوس | ٪۱۰۰ | ٪۲۶/۰۹ | ٪۶۳/۰۴ |
| آموزش با تصویر ۳، روش هارتلی | ٪۱۰۰ | ٪۲۴/۶۴ | ٪۶۲/۳۲ |

جدول ۸- بررسی اثر وجود ریش در شناسایی بروش توصیفگرهای کینوس گسته و هارتلی

| روش | درصد شناسایی برای تصویر ۴ | درصد شناسایی برای تصویر با ریش | درصد شناسایی کل |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------|
| آموزش با تصویر ۴، روش کینوس | ٪۱۰۰ | ٪۷۰ | ٪۸۵ |
| آموزش با تصویر ۴، روش هارتلی | ٪۱۰۰ | ٪۷۰ | ٪۸۵ |