

طراحی و پیاده‌سازی نرم‌افزار و سخت‌افزار الگوهای برانگیزاننده پتانسیل‌های بینایی

ابراهیم جعفرزاده پور^{۱*}، محمد فیروزآبادی^۲، بیژن‌هاشمی ملایری^۲، سید مسعود شوشتریان^۳،
انوشیروان کاظم نژاد^۴، ناصر اسعدی^۵

- ۱- استادیار گروه اپتومتری، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
- ۲- دانشیار گروه فیزیک پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۳- دانشیار گروه فیزیک پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۴- استاد گروه آمار زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۵- کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی، تهران، ایران

چکیده

هدف: یکی از روشهای کارآمد در بررسی سیستم بینایی، بهره‌گیری از آزمون VEP و ارزیابی پتانسیل‌های برانگیزاننده بینایی است. مدولاسیون و القای پارامترهای اپتیکی مانند رنگ، فرکانس فضایی و کنتراست کمتر مورد توجه بوده که این امر عمدتاً ناشی از محدودیتهای فناوری و ابزار است. توسعه نرم‌افزاری و سخت‌افزاری کامپیوتر امکان تنوع و انعطاف چشمگیر در طراحی و پیاده‌سازی الگوهای برانگیزاننده پتانسیل‌های بینایی را فراهم کرده است. **مواد و روشها:** با استفاده از بسته نرم‌افزاری دلفی ۵^۱ و بهره‌گیری از اصول سایکوفیزیک بینایی در حوزه رنگ، فرکانس فضایی و کنتراست الگوهایی طراحی و پیاده‌سازی شد. همچنین برای هماهنگی و همزمانی تغییر الگوها و سیستم ثبات مجموعه نرم‌افزاری و سخت‌افزاری، مکملی به نرم افزار اصلی اضافه شد. بدین ترتیب با بهره‌گیری از یک تخته مدار توسعه و مبدل آنالوگ به دیجیتال^۲ و مدار تک پایداره^۳ امکان تغییر الگوها از نظر شاخصهای اپتیکی بر اساس الگوریتم از قبل طراحی شده‌ای به وسیله راه‌انداز^۴ سیستم VEP فعال و راه‌اندازی شد. **نتیجه‌گیری:** با استفاده از پنجره‌های متعدد با روال منطقی، که برای کاربر حداکثر سهولت را فراهم سازد، این امکان در اختیار کاربر قرار گرفت که بتواند تمامی متغیرهای اپتیکی مهم در برانگیزش پتانسیل‌های بینایی شامل رنگ، کنتراست و فرکانس فضایی را به‌طور مستقل و نیز به‌طور متعامل با سایر پارامترهای اپتیکی تغییر دهد. به این ترتیب امکان القا و مدولاسیون عوامل اپتیکی میسر خواهد شد. مدولاسیون زمانی، فضایی و کانتراست الگوها به صورت مستقل و وابسته به سیگنال راه‌انداز دستگاه VEP فراهم شد. تعامل دینامیک عوامل اپتیکی را در بررسی‌های VEP افقهای جدیدی را مطرح خواهد کرد.

کلید واژگان: پتانسیل‌های برانگیزاننده بینایی، فرکانس فضایی، کنتراست، القای رنگی، مدولاسیون اپتیکی

۱- مقدمه

سیستم بینایی انسان یکی از پیچیده‌ترین حواس محسوب می‌شود؛ زیرا عوامل گوناگون فیزیکی و زیستی با هماهنگی و نظم خاصی در تعاملی پویا و دقیق عمل نموده و در نهایت ادراک بینایی را به‌وجود خواهد آورد. آشنایی با این حس از طرق گوناگون با نگرشهای متفاوتی انجام شده است. یکی از مؤثرترین و جدیدترین روشهای ارزیابی این سیستم، بررسی فعالیت

E-mail: Jafarzadehpur@iums.ac.ir

* نشانی مکاتبه: تهران، میرداماد، میدان محسنی، خیابان شهید شاهنظری، دانشکده علوم توانبخشی، تلفن: ۲۲۲۶۲۴۵۰

هر رنگ براساس معیار C.I.E. ضروری بود. بر مبنای این معیارها هر رنگ دارای مختصات منحصر به فردی است که براساس آن امکان تولید و بازسازی هر رنگ فراهم خواهد شد. برای طراحی کنتراست‌های گوناگون بر اساس دو معیار وبر⁷ و میکلسون⁸ تغییرات مختصات رنگی یا لومینانس نسبت به مجموع مختصات لومینانس یا نسبت به نقطه خشی رنگی محاسبه شده است. مبنای سایکوفیزیکی طراحی فرکانسهای فضایی نیز M.A.R.⁹ بوده است. در واقع ابعاد محرکهای بینایی با توجه به فاصله‌ای که از ناظر دارند زاویه‌ای را نسبت به نقطه گرهی¹⁰ چشم تشکیل می‌دهند. در این حالت تعداد مجموعه‌های قابل تکرار مکمل (یک سیکل) که در واحد زاویه نسبت به نقطه گرهی قرار می‌گیرند را فرکانس فضایی گویند. این فرکانس فضایی با واحد cpd¹¹ بیان می‌شود.

اما برای پیاده‌سازی تنوع گسترده‌ای از تحریکات بینایی، به نرم‌افزاری توانمند و مناسب از نظر امکانات نرم‌افزاری و هماهنگ و سازگار با مجموعه وسیعی از سخت‌افزارها نیاز بوده است. این نرم‌افزار بایستی امکاناتی داشته باشد که بتواند ضمن برقراری ارتباط با پورتهای کامپیوتر، بتواند از طریق آنها و سایر سخت‌افزارهای کامپیوتر به مبادله اطلاعات نیز بپردازد. با در نظر گرفتن توانمندیهای گرافیکی، سادگی ارتباط با کاربر و سایر نکات ذکر شده، بسته نرم‌افزاری دلفی⁵ به عنوان نرم‌افزار مبنای طراحی و پیاده سازی نرم افزار تولید کننده الگوهای برانگیزاننده پتانسیل بینایی در نظر گرفته شد.

نرم‌افزار طراحی شده امکانات تغییر رنگ، کنتراست، فرکانس فضایی و فرکانس زمانی را فراهم می‌سازد؛ اما نکته قابل تأمل این است که تغییرات ایجاد شده در صفحه نمایش و ایجاد الگوهای متفاوت از نظر رنگ، کنتراست و فرکانس فضایی بایستی با سیستم ثبات VEP هماهنگ باشد. در واقع رعایت دقیق همزمانی شروع تغییرات و ثبت پتانسیلهای برانگیزنده ضروری است. در غیر این صورت سیگنال ثبت شده هیچ ارزشی نخواهد داشت؛ زیرا یکی از پارامترهای مهم در بررسیهای VEP میزان زمان تأخیر است که در صورت عدم هماهنگی تحریکات و ثبت، ممکن است از هر نقطه‌ای از سیگنال برانگیزنده ثبت انجام شود، و در میانگین سیگنالهای به دست آمده، زمان تأخیر غیر واقعی ثبت شود. بنابراین ایجاد یک سیستم همزمان‌ساز در این زمینه، بسیار ضروری است. از سوی دیگر با توجه به اینکه غالب

الکتريکی آن است. تحریک سیستم بینایی انسان باعث ایجاد پتانسیلهای قابل ثبتی در سطح جمجمه در مقابل قشر بینایی می‌شود [1]. با توجه به تنوع و تعدد سلولهای گیرنده نوری به نظر می‌رسد حساسیت سیستم بینایی انسان در مقابل محرکهای بینایی گوناگون متفاوت باشد [2]. از این رو پاسخهای برانگیزنده سیستم بینایی انسان در مقابل محرکهای گوناگون متفاوت به نظر می‌رسد. در روشهای بالینی متداول برای ثبت پتانسیلهای برانگیزنده بینایی از دو روش نوری (Flash VEP) و الگوهای غالباً سیاه و سفید استفاده می‌شود.

روش ثبت پتانسیلهای برانگیزنده بینایی با تحریک نوری، از متقدمترین روشهای برانگیزش پتانسیلهای بینایی است. ولی این روش به خاطر نبود پارامترهای کنتراست، فرکانس فضایی و قدرت تفکیک، روشی کمی نخواهد بود و امروزه در استفاده از این روش نگرشی کیفی بر VEP فلاشی¹ حاکم است.

در سال ۱۹۶۶ بلاک‌مور² و کمپبل³ اولین افرادی بودند که از الگوهای تحریکی به جای فلاش استفاده کردند. اما به علت محدودیتهای فناوری در دهه ۶۰ میلادی و حتی سالهای متمادی پس از آن، امکان استفاده و تحلیل نتایج به دست آمده از الگوهای معکوس شونده، چندان متداول نبود. در سالهای اخیر استفاده از الگوهای صفحه شطرنجی⁴ سیاه و سفید با کنتراست ثابت و ابعاد مشخص به عنوان روش بالینی ثابت برای برانگیزش پتانسیلهای برانگیزنده بینایی (VEP) استفاده می‌شود. این آزمونها قابلیت مدولاسیون و القای اپتیکی را (کنتراست، فرکانس فضایی و رنگ) ندارد. طبعاً با توجه به تغییرات حساسیت و عملکرد سیستم بینایی نسبت به محرکهای گوناگون [2] به نظر می‌رسد امکان ثبت پتانسیلهای برانگیزنده بینایی با تغییرات پویای کنتراست، فرکانس فضایی و رنگ ضروری باشد. از این رو بر آن شدیم که نرم‌افزاری را طراحی و پیاده سازی نماییم که این امکانات را به نحو انعطاف‌پذیری داشته باشد و اجرای آن روی سیستمهای گوناگون VEP به سادگی امکانپذیر باشد.

۲- مواد و روشها

با توجه به انتظاراتی که از این نرم‌افزار و الگوهای ایجاد شده برای برانگیزش پتانسیلهای بینایی وجود داشت، برای طراحی این الگوها استفاده از مبانی سابکواپتیکی تحریکات بینایی، لازم بود تا تنوع مناسبی برای تحریکات بینایی فراهم آید. براین اساس تعریف و تبیین مختصات رنگی در فضای RGB⁴ و HLS⁵ برای

1. Flash VEP
2. Blakemore
3. Campbell
4. Checker board
5. Red, Green, Blue
6. Hue, Luminance, Saturation

7. Weber

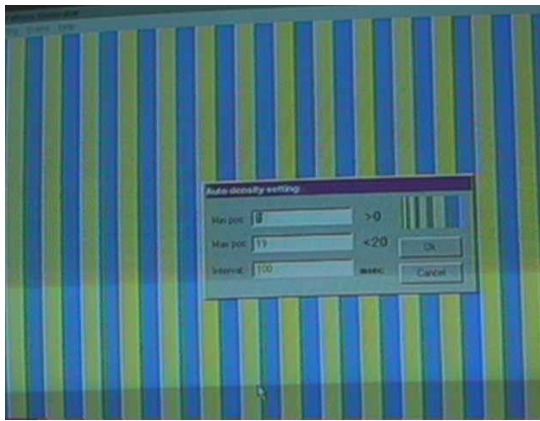
8. Michelson

9. Minimum Angle of Resolution

10. Nodal point

11. Cycle per degree

پارامتر در سیستمهای متداول ثبت VEP، بسیار محدود است و تنها چند فرکانس فضایی با فاصله‌های بسیار زیاد در هر سیستم قابل ایجاد است. در حالی که در سیستم طراحی شده امکان تغییر فرکانس فضایی از تحریکات تحت آستانه‌ای ۳۲cpd تا الگوهای بسیار بزرگ با فرکانس فضایی بسیار کم در حد ۰/۱cpd در دسترس خواهد بود. تغییرات فرکانس فضایی به هر دو شکل استاتیک و دینامیک قابل تغییر و برنامه‌ریزی خواهد بود (شکل ۱). همانطور که در شکل ۱ مشخص شده است با تعیین ابعاد خطوط در ابتدا و انتها می‌توان ابعاد آن را از مقداری معین به مقدار مشخص دیگری تغییر داد. با توجه به شکل ۱ ملاحظه می‌شود که این تغییر در قالب تعداد معینی فریم که به وسیله کاربر قابل تنظیم است انجام می‌شود. در نتیجه در یک سیستم ثبت بسیار ساده و اولیه VEP، می‌توان از روش ثبت پیشرفته‌ای همچون آزمونهای Sweep VEP بهره گرفت.



شکل ۱ تنظیم فرکانس فضایی

کنتراست: برخی از سیستمهای تحقیقاتی VEP درجات محدودی از کنتراست لومینانس را برای الگوهای سیاه و سفید در اختیار می‌گذارند که حتی برای ارزیابی بسیار محدود C.S.F. ناکارآمد است. این نرم‌افزار گستره پیوسته‌ای از تغییرات کنتراست لومینانس، کنتراست رنگی و کنتراست Opponent را فراهم می‌سازد که وضعیتها و محرکهای مختلفی را برای ارائه به بیمار و ثبت VEP مطرح خواهد نمود. این تنوع تحریک، روشهای جدید و ترکیبی را در آزمونهای VEP مطرح خواهد کرد. همانطور که در شکل ۲ مشخص است با انتخاب رنگهای گوناگون و لومینانس‌های متفاوت بر اساس مختصات سایکوفیزیکی مشخص شده و نیز بر مبنای معیارهای ویر و میکلسون امکان طراحی مختصات مختلف لومینانس و رنگ در کنار یکدیگر وجود دارد که این امر تنوع گسترده‌ای از کنتراست را از ۰/۴ درصد تا ۱۰۰ درصد در فضاهای گوناگون لومینانس، رنگی و غالب^۳ فراهم

سیستمهای ثبت VEP دارای یک سیگنال راه انداز (Trigger) برای فعال‌سازی سیستم نمایشی وابسته به خود هستند و عموماً این سیگنال از نظر خصوصیات زمانی و فضایی، برای همان سیستم اختصاصی است؛ در نتیجه لازم است سیستم نمایش‌دهنده الگوها با استفاده از مجموعه‌ای سخت‌افزاری مناسب نسبت به سیگنالهای راه‌انداز فعال شده و عمل نماید. بنابراین سیستم Monostable طراحی و پیاده‌سازی شد. این سیستم با دریافت سیگنالهای (Trigger) دستگاه ثبت و ایجاد پایداری زمانی و فضایی در این سیگنالها، امکان انتقال و استفاده از آنها را فراهم می‌سازد. سپس این سیگنالهای تعدیل شده از طریق یک مدار Extension Board به یک مدار مبدل آنالوگ به دیجیتال^۱ منتقل می‌شود. با قرار دادن این سیگنال در نشانی خاص و پیش‌بینی کنترل و خواندن محتوای این نشانی در نرم‌افزار اصلی سیستم برانگیزاننده پتانسیلهای بینایی، امکان تغییر الگوهای نمایش داده شده تنها با فرمان سیستم ثبت و هماهنگ با آن، فراهم خواهد شد.

بدین ترتیب با بهره‌گیری از یک مدار A/D, Extension Board و مدار Monostable امکان تغییر الگوها از نظر شاخصهای اپتیکی براساس الگوریتم از قبل طراحی شده‌ای به وسیله راه‌انداز یک سیستم VEP فعال و راه‌اندازی شد. از سوی دیگر مدولاسین زمانی، فضایی و کنتراست الگوها به صورت مستقل و وابسته به سیگنال راه‌انداز دستگاه VEP، به دو صورت استاتیک و دینامیک امکان‌پذیر خواهد شد. در چنین سیستمی، امکان انتخاب مدولاسیون یا القای ویژه‌ای برای شرایط ثبت ویژه‌ای به طور ثابت امکان‌پذیر خواهد بود. علاوه بر این می‌توان از مختصات اپتیکی خاصی با مدولاسیون و القای خاص به مختصات اپتیکی دیگر با مدولاسیون و القای متفاوت دیگری در طی قابلهای تصویری معین و قابل تنظیم تغییر مختصات اپتیکی را ایجاد و ثبت متناظر با آن را انجام داد. عملکرد نرم‌افزار و سخت‌افزار متناظر با آن به وسیله دو دستگاه Nicolet Pathfinder و Dantech در خصوص شاخصهای زمانی، فضایی و اپتیکی آن، مورد ارزیابی شد.

۳- نتایج

نتایج به دست آمده از عملکرد این نرم‌افزار حاکی از قابلیت‌های متعدد و گسترده آن، در زمینه ارائه محرکهای بینایی مناسب، دقیق و متنوع برای ثبت پتانسیلهای برانگیزخته بینایی به شرح زیر است. **فرکانس فضایی:** یکی از جنبه‌های مهم و اساسی ارائه تحریکات برانگیزاننده پتانسیلهای بینایی تغییرات فرکانس فضایی است. این

2. Contrast Sensitivity Function
3. Opponent

1. Analogue to digital converter

۴- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که با استفاده از این نرم‌افزار قابلیت‌های یک سیستم ساده VEP را می‌توان به نحو چشمگیری افزایش داد. در واقع حتی اگر سیستم VEP مورد نظر یک سیستم ساده اولیه و از نوع فلاشی باشد، با بهره‌گیری از این نرم‌افزار همراه با یک سیستم کامپیوتری پتیسوم، می‌توان قابلیت‌های آن را در حد جدیدترین و پیشرفته‌ترین سیستم‌های نمایش، تحریک و برانگیزاننده پتانسیل‌های سیستم بینایی ارتقا داد. نکته قابل توجه در مورد این نرم‌افزار این است که با هر سیستم VEP قابل ارتباط است که بر گستردگی عملکرد و کاربرد آن می‌افزاید؛ زیرا هر سیستم VEP از یک سیگنال ماشه برای راه اندازی محرک‌های بینایی استفاده می‌کند [۳]. این سیگنال باعث روشن شدن یک فلاش، ماتریس LED و یا نمایش الگوهای از پیش تعیین شده‌ای می‌شود. با توجه به حساسیت سیستم طراحی شده به انواع سیگنال‌های ماشه و استفاده از براندازه‌ساز سیگنال^۱ برای حفظ این سیگنال در زمان معین و تطبیق سیگنال‌های دریافت شده با تغییر مناسب الگوها با سخت‌افزارهای مناسب، شرایطی مهیا شده است که به نظر نمی‌رسد این نرم‌افزار در برقراری ارتباط با سیستم‌های مختلف VEP مشکلی داشته باشد.

تنوع روش‌های آزمونی براساس پروتکل‌های موجود [۴، ۵، ۶، ۷] و نیز امکان تلفیق روش‌ها و ایجاد تکنیک‌های جدید برای برانگیختن سیگنال‌های بینایی با این نرم‌افزار، افق‌های جدیدی را در آزمون VEP مطرح خواهد کرد. این تنوع و گستردگی شرایط، آزمون‌های VEP و محرک‌های آن را به آزمون‌های سایکو‌اپتیکی نزدیکتر نموده و امکان تفسیر، همانندسازی و ارزیابی متناظر این روش‌ها را با آزمون‌های VEP فراهم خواهد کرد.

در نتیجه اطلاعات گسترده‌تری از عملکرد دقیق سیستم بینایی و ارزیابی پاسخ‌های آن در مواجهه با محرک‌های گوناگون به‌دست خواهد آمد. این اطلاعات شناخت بیشتری از سیستم بینایی فراهم خواهد نمود [۸ - ۱۰]. انجام آزمون‌های شناختی و VEP در بیماران مبتلا به گلوکم از کاربردهای مهم آزمون‌های ویژه VEP و تناظر آن با آزمون‌های سایکوفیزیکی^۲ در شناخت زود هنگام این بیماری‌ها محسوب می‌شود [۱۱] کاربرد این اطلاعات در بسیاری از علوم همچون روباتیک^۳ و بینایی ماشین [۱۲]، اپتومتری و چشم پزشکی [۱۳]، فیزیولوژی [۱۴] و حتی ساخت برخی اسباب بازیها و سرگرمیها بدیهی است.

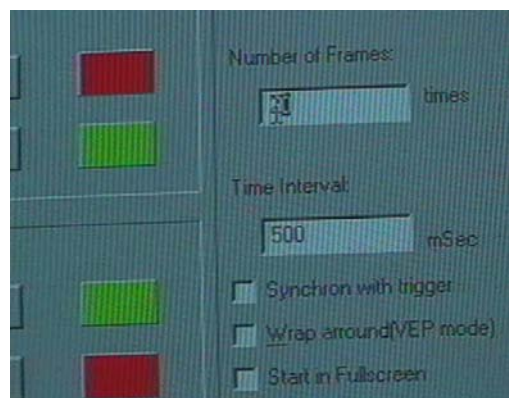
خواهد کرد. این تنوع تحریک، روش‌های جدید و ترکیبی را در آزمون‌های VEP مطرح خواهد کرد.



شکل ۲ تنظیم کانتراست

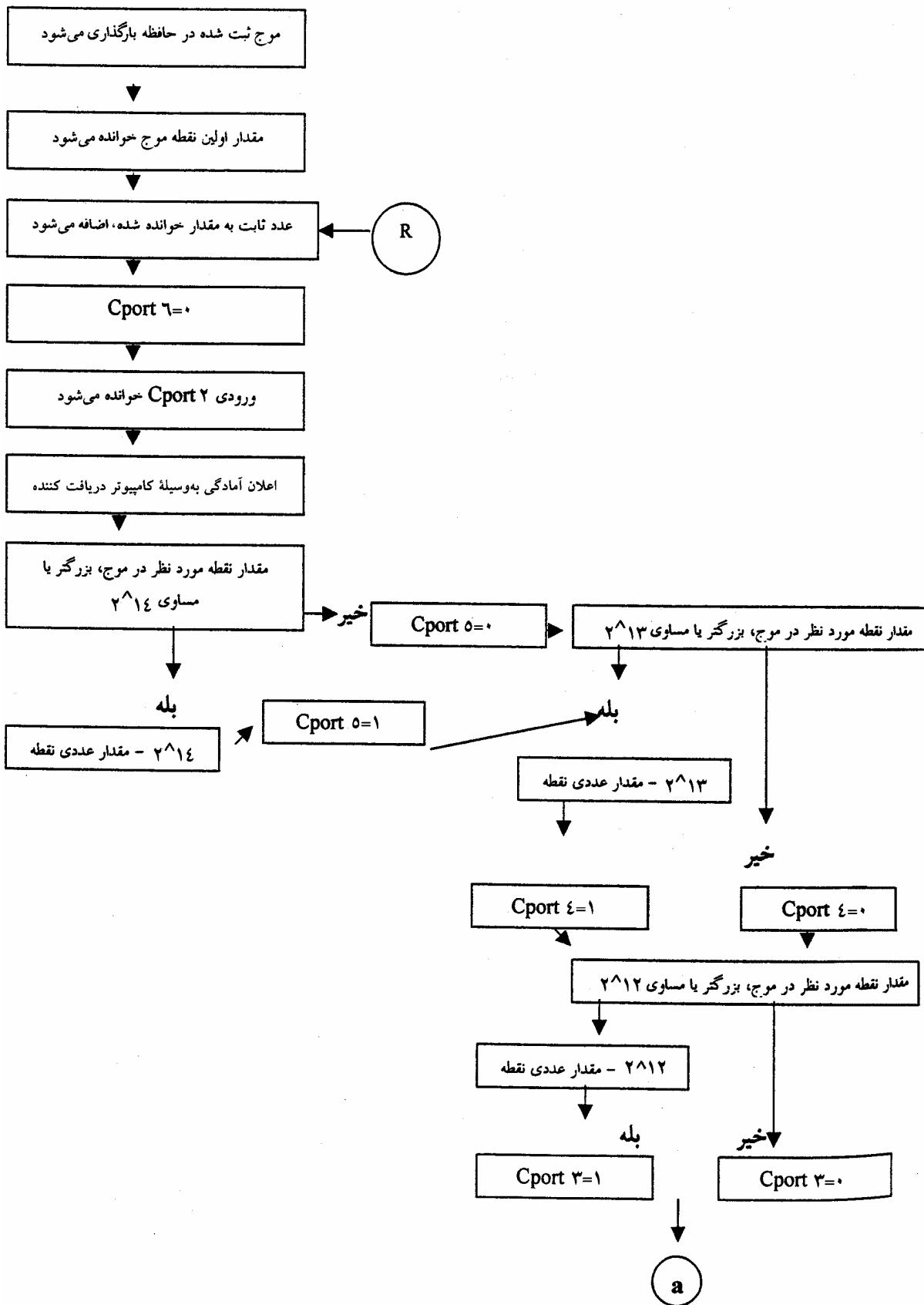
رنگ: مدولاسیون و القای رنگی پدیده‌ای کارآمد و مؤثر در آزمون‌های سایکو‌اپتیکی به شمار می‌آید. اما از این تکنیکها تاکنون در آزمون‌های VEP استفاده بسیار اندکی شده است. این امر در بیشتر موارد ناشی از محدودیت‌هایی بوده که در ایجاد مختصات رنگی خاص در فضای H.L.S. و RGB بطور همزمان براساس استانداردهای CIE وجود داشته است. این نرم‌افزار با قابلیت تعریف هر مختصات رنگی در استاندارد بین المللی CIE امکان مدولاسیون و القای رنگی را که غالباً در VEP مورد استفاده نبوده است، فراهم خواهد کرد. به این ترتیب افق‌های جدیدی در تکنیک‌های معمول در آزمون‌های VEP مطرح خواهد شد.

در شکل ۳ امکانات دیگری از این نرم‌افزار را مشاهده می‌کنیم. علاوه بر تعیین مختصات رنگی امکان نمایش تمام صفحه (Full screen) الگوها میسر است. همچنین امکان راه‌اندازی به وسیله سیگنال ماشه یا بدون آن ممکن است. در شرایطی که سیستم، مستقل از سیگنال ماشه الگوها را تغییر می‌دهد، می‌توان تعداد فریم‌ها و زمان بین آنها را از طریق منوی مربوطه که در شکل آمده، تغییر داد.

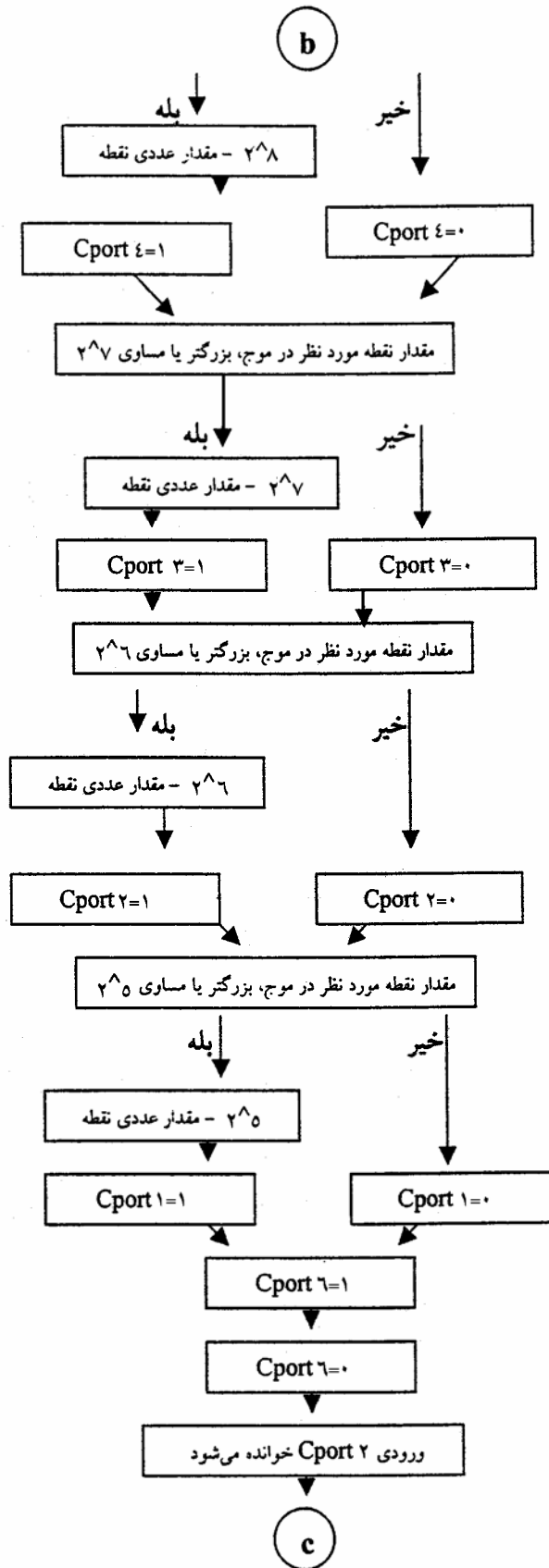


شکل ۳ تنظیم رنگ، هماهنگی با سیستم ثبات، نمایش تمام صفحه، زمان بین فریم‌ها و تعداد فریم‌ها

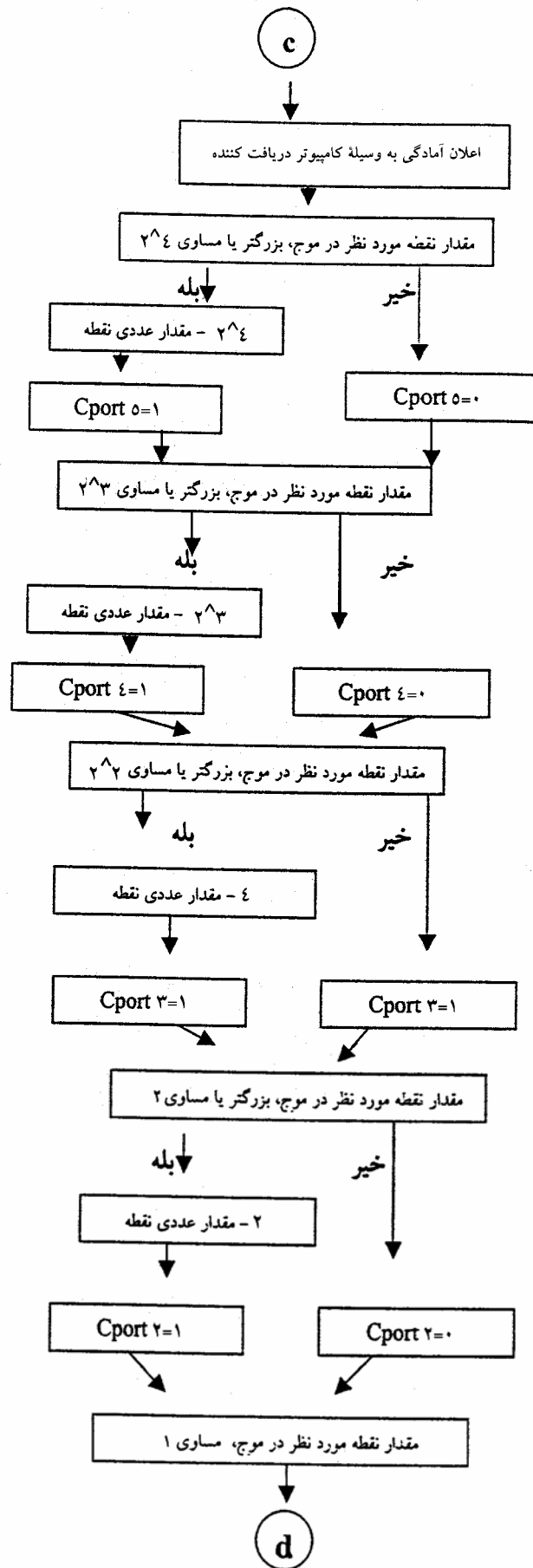
1. Signal Conditioner
2. Psychophysical
3. Robotics



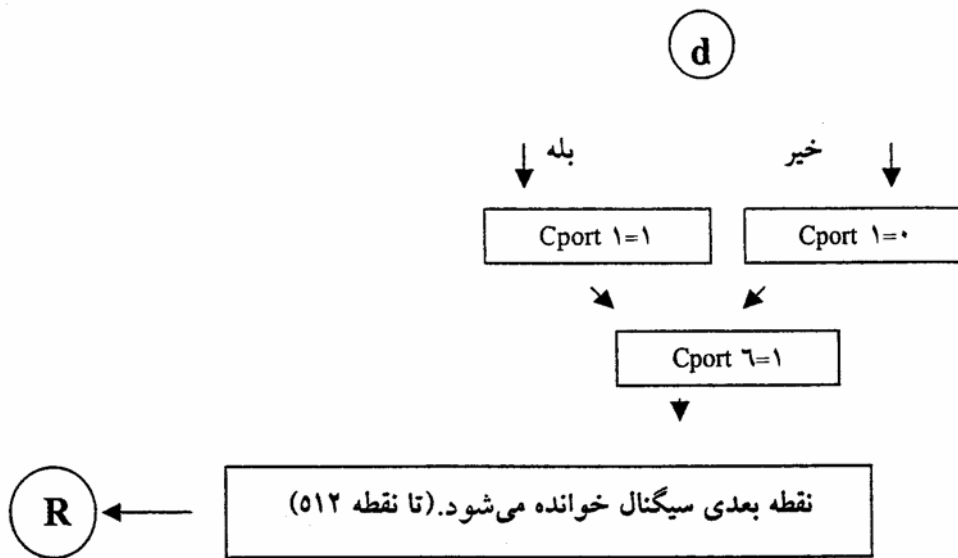
نمودار ۱ انتقال اطلاعات با استفاده از برنامه Mecol



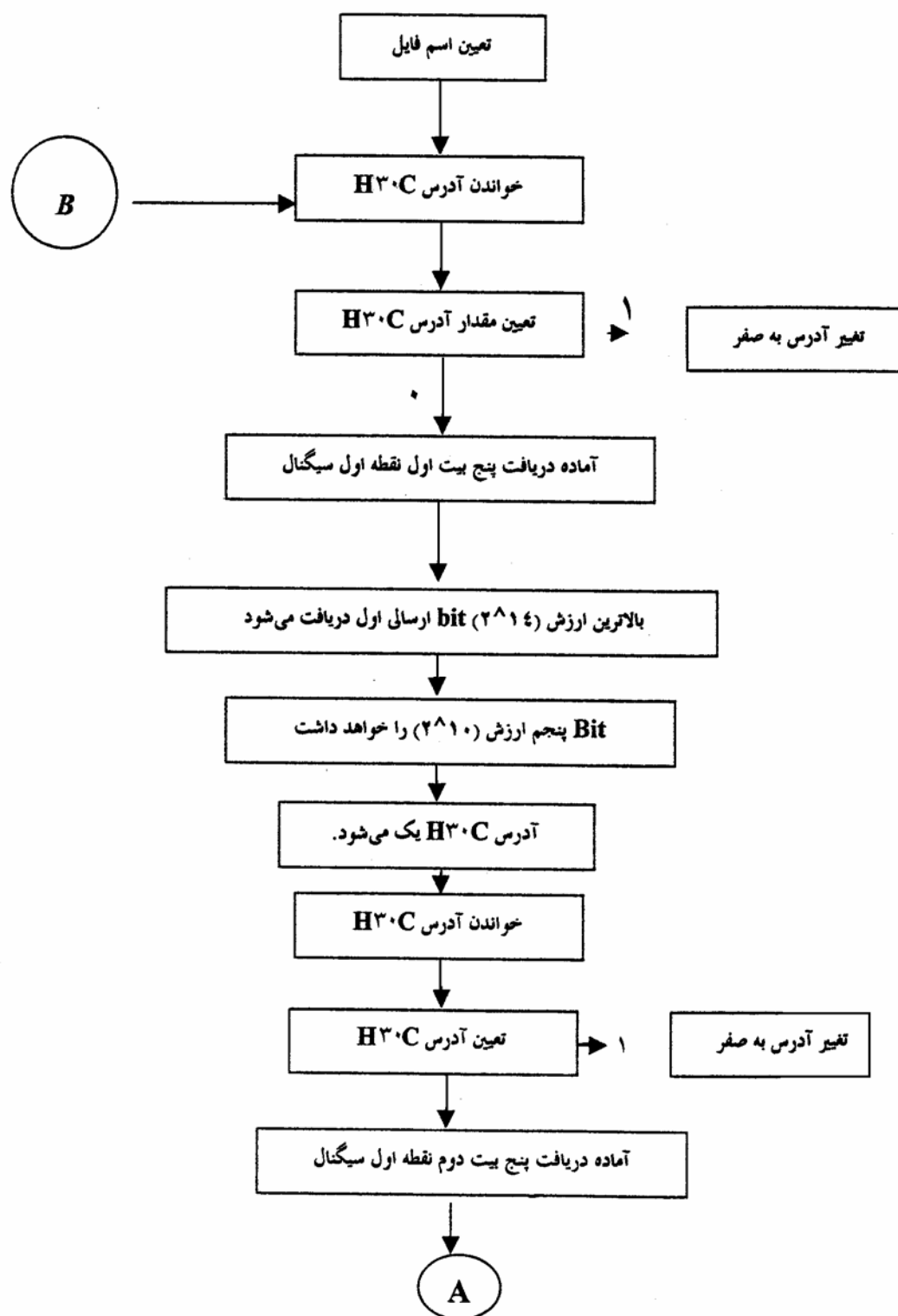
ادامه نمودار ۱



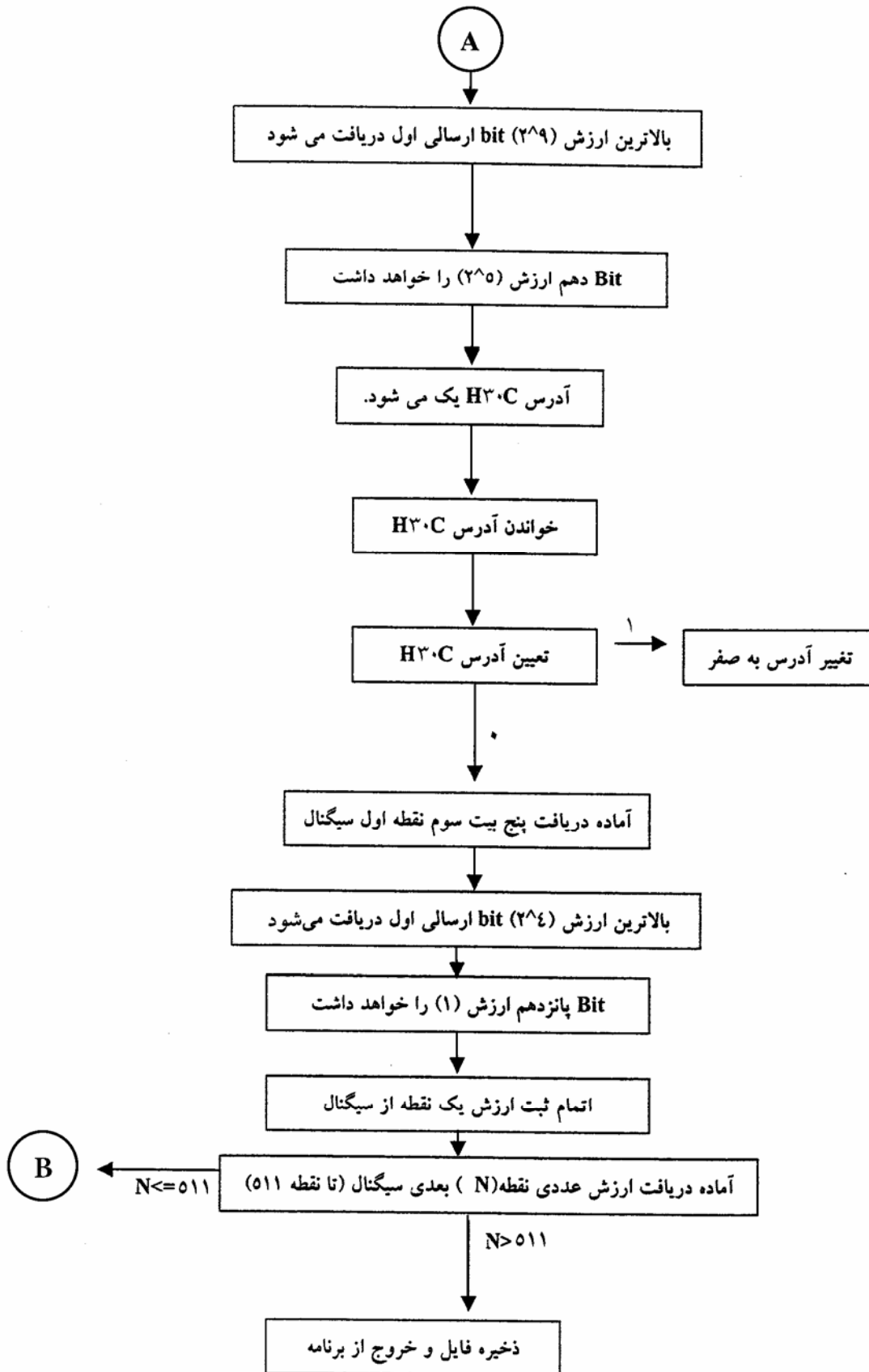
ادامه نمودار ۱



ادامه نمودار ۱



نمودار ۲ برنامه دریافت کننده سیگنال پتانسیلهای برانگیخته بینایی



ادامه نمودار ۲

۵- منابع

- [1] Arden G.; Principles and practice of clinical Electro physiology of vision. New York: Mosby presses; p 17, 1991.
- [2] Parry NR.; Spatio-temporal tuning of VEPs; Vision Res. 1999; 39 (21): 3491-7.
- [3] Diprose GK.; Computer controllable variable intensity; Med. Biol. Eng. Computer. 1985; 23:496-497.
- [4] Peterzell DH.; Spatial frequency masking with sweep VEP; Vision Res. 1997; 37 (17): 2349-59.
- [5] Plant GT.; Transient visually evoked potentials; Electroencephalogram. Clin. Neurophysiol. 1983; 56 (2): 147-58.
- [6] Kulikowski JJ.; Selective Stimulation of color mechanism; Spat. Vis. 1997; 10 (4): 379-402.
- [7] Tobimatsu S.; Effect of spatial frequency on transient and steady state VEPs; J. Neurol. Sci. 1993; 118 (1): 17-24.
- [8] Fortune B, Hood DC. Conventional pattern-reversal VEPs are not equivalent to summed multifocal VEOs. Invest Ophthalmol Vis Sci 2003 Mar; 44(3): 1364-75.
- [9] Hopf JM, Vogel E, Woodman G, Heinze HJ, Luck SJ. Localizing visual discrimination processes in time and space. J Neurophysiol 2002 Oct; 88(4): 2088-95.
- [10] Kulikowski JJ, Robson AG, Murray IJ. Scalp VEPs and intra-cortical responses to chromatic and a chromatic stimuli in primates. Doc Ophthalmol 2002 Sep; 105(2): 243-79.
- [11] Zarazaga I, Cristobal JA, Broto MA, Valdizan Uson JR, Brualla-Coll J, Garcia-Campayo J. Cognitive evoked potential in primary wide angle glaucoma Rev Neurol 2002 May 1-15; 34(9): 801-7.
- [12] Mc Cafferty JD.; Human and Machine Vision. London: Ellis horwood LTD.; pp 22-29, 1990.
- [13] Bobak P.; Cortical contrast gain control in human spatial vision; J. Physiol. 1999; Nov; 525:521-37.