دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک

عنوان پایان نامه:

پردازش اعداد تصادفی تولیدی توسط افراد به عنوان روشی جهت بازشناسی در زیست‌سنجی

استاد راهنما:جناب آقای دکتر محمد میکائیلی

نگارش: الهام جوکار

بهمن ۹۰

تقدیم به:

مهربانی های مادرم

و

شکیبایی های پدرم

و

حمایت های همسرم

با سپاس از خداوند منّان که مرا در جای جای زندگی‌ام هدایت نمود. بر خود واجب می دانم که از زحمات کلیه کسانی که از آغاز تا به امروز مرا در انجام این تحقیق، تشویق و یاری نموده اند، کمال تشکر و قدردانی را بعمل آورم. تقدیر و تشکّر خاص خود را، تقدیم به استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر محمد میکائیلی می نمایم. بی شک بدون راهنمایی های ارزشمند ایشان پیمودن این مسیر دشوار بود.

از پدر، مادر و همسرم که مشوق اصلی من در پیمودن این مسیر بوده اند، کمال تشکر را بعمل می آورم.

از کلیه دوستانم که هر کدام مرا به نوعی مرهون محبتهای خود نموده اند سپاسگزاری می کنم.

چکیده:

مطالعات مستقلی در دانش عصبی شناختی و روانشناسی خبر از وجـود یـک الگـوی شـناختی در تولید اعداد تصادفی می‌دهند، که قابلیت تمایز را در جمعیت‌های بالینی دارا می‌باشـد، امـا تـاکنون ایـن توانایی افراد، جهت بازشناسی آنان به کار برده نشده است. نتایج بدست آمده از مطالعه تصـویری مغـز در حین تولید اعداد تصادفی نشان دهنده فعال شدن نواحی خاصی است که این نواحی به عنوان مرکـز خلاقیت ذهنی هر فرد شناخته می‌شود. با توجه به این مسئله که میزان توانایی در ایجاد ابتکار برای هـر فرد، در حین انجام کارهای روزانه‌اش متفاوت است، می‌توان فرض نمود که ایـن فـرد در حـین تولیـد اعداد تصادفی هم میزان ابتکار منحصر به فردی را از خود به نمایش خواهد گذاشت. این مسـئله یکـی از اساسی‌ترین اصول این مطالعه است و در این پروژه هدف نهایی، تعیین میزان تمـایز ایجـاد شـده در سری‌های اعداد تصادفی افراد متفاوت است به صورتی که تخمینی از میزان خطای بازشناسـی افـراد بـا استفاده از اعداد تولید شده آن‌ها، زده شود. برای رسیدن به این هدف، سـه پروتکـل کـاملا جدیـد بـر مبنای مطالعات موجود در این زمینه پایه گذاری و اجرا شدند: پروتکل کلاه، تـاس‌هـا و صـفحه کلیـد. داده‌های مربوط به ۳۰ فرد در این مطالعه، جمع‌آوری و پردازش شد. افراد شرکت کننده در ایـن پـروژه تا حد مقدور از قشرهای متفاوت انتخاب شدند تا نتایج بدست آمده را در این مطالعه، منحصر به قشـر خاص نباشد. روش‌های پردازش پروتکل‌ها، به چهار روش جدا تقسیم‌بندی شدند و نتایج هـر کـدام از آنها در بخش مربوط به خود آورده شده اسـت. بهتـرین نتیجـه در روش چهـارم پـردازش و بـر روی دادگان پروتکل کلاه بدست آمد. در این سطح، از ویژگی‌های آماری خطی و غیرخطی جهت اسـتخراج ویژگی از اعداد استفاده شد و طبقه‌بندی کننده خطی با درصـد خطـای ٤٤٪ و ۳۳٪ بـه عنـوان بهتـرین کلاسبند داده‌های پروتکل کلاه و تاس‌ها انتخاب شد و در مرحله آخر ویژگی‌های استفاده شده در ایـن مرحله ارزیابی شدند. هر چند ابعاد این مطالعه اجازه نتیجه‌گیری کلـی را در ایـن زمینـه نمـی‌دهـد امـا بدست آمدن چنین نتایجی در پردازش اعداد تصادفی بعنوان روش جدیدی در زیست سنجی‌هـا بسـیار ارزشمند است.

کلمات کلیدی: اعداد تصادفی، زیست سنجی، بازشناسی، دینامیک های آشـوبی، تبـدیل ویولـت، مدل مخفی مارکوف، ویژگی‌های آماری خطی و غیرخطی، طبقه بندی کننده های خطی و غیر خطی

فهرست مطالب

فصل اول **۱**

۱-۱: مقدمه ۲

۱-۲: توانایی انسانها در تولید اعداد تصادفی درست ٤

۱-۳: نواحی فعال در مغز حین تولید اعداد تصادفی ۷

۱-٤: بیماران پارکینسونی و اعداد تصادفی ۱۰

۱-۵: بیماران اوتیسم و تولید اعداد تصادفی ۱۲

۱-٦: بیماران اسکیزوفرنی ۱۳

۱-۷: استفاده از سریهای زمانی تصادفی جهت بازشناسی افراد: ۱۵

۱-۸ جمع بندی: ۱٦

فصل دوم **۱۷**

۲-۱: مقدمه ۱۸

۲-۲: انتخاب نوع تولیدات تصادفی ۱۸

۲-۲-۱:پروتکل اول: آزمایش کلاه *۱۸*

۲-۲-۲: پروتکل دوم: آزمایش تاسها ۲۰

۲-۲-۳: پروتکل سوم: آزمایش صفحه کلید ۲۱

۲-۳: اولیت بندی در اجرای پروتکلها ۲٤

۲-٤: شرکت کنندهها ۲٤

۲-۵: توضیحات ارائه شده به شرکت کنندهها ۲۵

۲-٦: جمع بندی فصل: ۲۵

فصل سوم **۲۷**

۳-۱: مقدمه ۲۸
۳-۲: پیش نیاز روش اول پردازش (روش بعدهای افزوده)..... ۲۸
۳-۲-۱: تکنیک بعدهای افزوده ۲۸
۳-۲-۲: مقدمه‌ای برای معرفی درخت گسترده شده حداقل..... ۲۹
۳-۲-۳: تست Wald-wolfowitz چند متغیره..... ۳۰
۳-۲-٤: مقیاس گذاری چند بعدی..... ۳۱
۳-۳: پیش نیاز روش دوم پردازش (پردازش با استفاده از تبدیل موجک)..... ۳۱
۳-۳-۱: تبدیل موجک..... ۳۱
۳-۳-۱-۱: تبدیل موجک پیوسته..... ۳۲
۳-۳-۱-۲: تبدیل موجک گسسته..... ۳۳
۳-٤: پیش نیاز روش سوم پردازش (مدل مخفی مارکوف)..... ۳۳
۳-٤-۱: مدل مخفی مارکوف..... ۳۳
۳-٤-۲- اجزای مدل مخفی مارکوف..... ۳٤
۳-٤-۳: مسائل اساسی مدل مخفی مارکوف..... ۳٦
۳-٤-٤: فرضیات تئوری مدل مخفی مارکوف..... ۳۷
۳-٤-۱-۵: مساله ارزیابی و الگوریتم پیشرو..... ۳۸
۳-٤-۱-٦: مساله یادگیری..... ٤۱
۳-٤-۱-۷: معیار بیشترین شباهت..... ٤۱
۳-٤-۱-۸: الگوریتم بام- ولش..... ٤۲
۳-۵: پیش نیاز روش چهارم پردازش (ویژگی‌های سیگنال‌ها)..... ٤۵
۳-۵-۱: ویژگی‌های آماری خطی..... ٤۵
۳-۵-۱-۱: میانگین و انحراف معیار سیگنالی..... ٤۵

۳-۵-۱-۲: میانگین و انحراف معیار ماتریسی ٤٦
۳-۵-۱-۳: تکرار ٤٦
۳-۵-۱-٤: شمارش با پله ۱ ..... ٤٦
۳-۵-۱-۵: شمارش با پله ۲ ..... ٤٧
۳-۵-۱-٦: طول سیگنال ٤٧
۳-۵-۱-۷: تعداد تکرارها برای هر عدد ٤٧
۳-۵-۱-۸: جفت‌های شناخته شده ٤٨
۳-۵-۱-۹: شاخص نقاط چرخش ٤٨
۳-۵-۱-۱۰: چرخش ٤٩
۳-۵-۲: ویژگی‌های غیرخطی ٤٩
۳-۵-۲-۱: معیار پیچیدگی لمپل زیو ٤٩
۳-۵-۲-۲: آنتروپی ٥١
۳-۵-۲-۲-۱: آنتروپی شانون ٥١
۳-۵-۲-۲-۲:آنتروپی تقریبی: ٥٢
۳-۵-۲-۳: لگاریتم انرژی سیگنال ٥٣
۳-۵-۲-٤: ابعاد فرکتال ٥٣
۳-۵-۲-٤-۱: بعد فرکتال هیگوچی ٥٤
۳-۵-۲-٤-۲: بعد فرکتال پتروسین ٥٤
۳-۵-۲-٤-۳: بعد فرکتال کتز ٥٥
۳-۵-۲-٤-٤: بعد فرکتال سوکیک ٥٥
۳-٦: معرفی طبقه‌کننده‌های به کار رفته در پردازشها ٥٥
۳-٦-۱: طبقه‌بندهای خطی ٥٦

۳-٦-۱-۱: طبقه‌بند خطی لاجستیک ٥٦
۳-٦-۱-۲: طبقه‌بند فیشر ٥٧
۳-٦-۱-۳: طبقه کننده نزدیکترین میانگین ٥٧
۳-٦-۲:طبقه‌بندی کننده غیرخطی ٥٨
۳-٦-۲-۱: طبقه‌بند براساس پرسپترون خطی ٥٨
۳-٦-۲-۲: طبقه‌بندی کننده k-نزدیکترین همسایه ٥٨
۳-٦-۲-۳: ماشین بردار پشتیبان ٥٩
۳-٦-۳: طبقه‌بندی‌کننده‌ها با استفاده از توزیع نرمال ٦٤
۳-٦-۳-۱: طبقه‌بندی کننده توزیع نرمال بر اساس ویژگیهای مستقل ٦٥
۳-٦-۳-۲: طبقه‌بندی‌کننده تفکیک خطی ٦٥
۳-٦-۳-٤: طبقه بندی کننده تفکیک مربعی ٦٦
۳-۷: سناریوی بازشناسی ٦٧
۳-۷-۱: معیار LOO ٦٧
۳-۷-۲: سناریوی بازشناسی بدون امکان پس زنی ٦٧
۳-۷-۳: سناریوی بازشناسی با قابلیت پس زنی ٦٩
۳-۸: جمع بندی ۷۰
فصل چهارم ۷۱
٤-۱ مقدمه ۷۲
٤-۲: روش اول پردازش ۷۳
٤-۲-۱: استخراج ویژگی ۷۳
٤-۲-۲: طبقه‌بندی کننده‌های مورد استفاده ۷٥
٤-۲-۳: نتایج روش پردازش اول در آزمایش کلاه ۷٦

٤-٢-٤: نتایج سطح پردازشی اول در آزمایش صفحه کلید..... ٧٧

٤-٢-٥: نتایج روش پردازشی اول در آزمایش تاس..... ٧٨

٤-٣: روش دوم پردازش..... ٧٩

٤-٣-٣: سناریو بازشناسی ماشین‌های بردار پشتیبان با امکان پس زنی..... ٨١

٤-٣-٤: نتایج سطح دوم پردازش در پروتکل کلاه..... ٨٢

٤-٤: روش سوم پردازش..... ٨٤

٤-٤-١: طبقه‌بندی سیگنالهای ورودی با استفاده از مدل مخفی مارکوف..... ٨٤

٤-٤-٢: نتایج روش پردازشی سوم در آزمایش کلاه..... ٨٥

٤-٥: روش چهارم پردازش..... ٨٦

٤-٥: روش چهارم پردازش..... ٨٨

٤-٥-١:نتایج پروتکل کلاه در روش پردازش چهارم..... ٨٨

٤-٥-١-١: بررسی مرحله به مرحله خطای حاصله در سناریوی بازشناسی در پروتکل کلاه ٩٠

٤-٥-١-٢:تفکیک ویژگیها در پروتکل کلاه..... ٩١

٤-٥-١-٢-١: نتایج پروتکل کلاه با مجموعه ویژگیهای غیرخطی..... ٩٢

٤-٥-١-٢-٢: نتایج پروتکل کلاه با مجموعه ویژگیهای خطی..... ٩٣

٤-٥-١-٣: ارزیابی ویژگیها در پروتکل کلاه..... ٩٤

٤-٥-٢: نتایج آزمایش تاس در سطح پردازشی چهارم..... ٩٥

٤-٥-٢-١: ارزیابی ویژگیها..... ٩٨

٤-٥-٣: نتایج بدست آمده از سطح پردازشی چهارم روی داده‌های صفحه کلید..... ٩٩

٤-٦: جمع بندی فصل..... ١٠٢

فصل پنجم..... ١٠٣

٥-١: مقدمه..... ١٠٤

۵-۲: خلاصه نتایج روش پردازشی اول..... ۱۰٤
۵-۳: خلاصه نتایج روش پردازش دوم..... ۱۰٦
۵-۳: خلاصه نتایج سطح پردازشی سوم..... ۱۰۷
۵-٤: خلاصه نتایج در پردازش چهارم..... ۱۰۸
۵-۵: نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۱۲
فهرست مراجع:..... ۱۱٤

فصل اول:

بررسی کارهای گذشته

۱-۱: مقدمه

تعریف تصادفی بودن در دایره‌المعارف لانگمن[1] به صورت زیر آمده است:

"رخداد و یا انتخاب بدون هیچ برنامهٔ تعریف شده، قصد ویا الگو". و این تعریف را به صورت زیر تعبیر کرده اند: دنباله‌ای از اعداد تصادفی گفته می‌شوند که اگر در تمام اعداد موجود در دنباله(n)، عدد بعدی (n+1) قابل پیش‌بینی نباشد. اعداد تصادفی کاربردهای زیادی را در مقاصد رمز نگاری و ریاضیات بازی می‌کنند. بنابراین تولید آنها به گونه‌ای که واقعاً قابل پیش‌بینی نباشند بسیار ارزشمند است. کامپیوترها با کمک از روابط و معادلات خاص قادراند تا حدودی اعدادی را تولید کنند که به درجات تصادفی بودن درست بسیار نزدیک است[۱].

تولید اعداد تصادفی پروسهٔ مهمی در سطح مطالعات آکادمیک و صنعت می‌باشد. جدول‌های اعداد تصادفی برای مقاصد گوناگونی مانند روش‌های عددی در ادغام سازی[2] (روش مونت کارلو)، آزمایشات تصادفی، تست برنامه‌های کامپیوتری و رمزنگاری به کار می‌رود. یک راه تولید اعداد تصادفی استفاده از برنامه-های کامپیوتری است که از روابط ریاضی استفاده می‌کنند و بعد از محاسبات، دنباله‌ای از اعداد را تولید می-

[1] Longman
[2] integration

کنند. البته در این روش چون اعداد از روی روابط ریاضی بدست می‌آیند، قابلیت پیش‌بینی دارند، در نتیجه به این روش "شبه تصادفی" می‌گویند. یک روش مکانیکی و مشاهده‌ای دیگر برای تولید اعداد تصادفی درست، استفاده از آنتروپی منابع طبیعی گوناگون است. زمان وقفهٔ بین تشعشعات رادیواکتیویته ذرات زیراتمی نیز به درستی تصادفی هستند و قابل کدکردن ویا پیش‌بینی شدن نمی‌باشند. این اعداد تست‌های مختلفی را برای اندازگیری تصادفی بودن گذرانده‌اند[۲] .

ایدهٔ چک کردن میزان تصادفی بودن اعداد تولیدی توسط انسان سال‌هاست که در حال بررسی است. در سال ۱۹۶۰ آلن بدلی[3] این مسئله را بررسی کرد. آزمایش‌های دیگری نیز در مورد نحوهٔ تولید اعداد در انسان مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها در مجموعهٔ پایه (عناصر مجموعه‌ای که افراد باید از میان آن به صورت تصادفی انتخاب کنند) باهم تفاوت داشتند؛ حروف الفبایی، اعداد و یا به صدا در آوردن طبل‌هایی که با شماره مشخص شده‌اند و یا انتخاب از میان یک رنج عددی از جملهٔ این مجموعه پایه هستند. نرخ تولید اعداد در این موارد یا از طریق خارج کنترل می‌شود و یا شرکت کننده خود و بدون محدودیت زمانی این کار را انجام می‌دهد. بسته به نوع آزمایش و شرایط مربوط به آن یکی از دو حالت فوق در نظر گرفته می‌شود [۱].

در حین تولید اعداد تصادفی، شرکت کننده‌ها باید مجموعه اصلی اعداد را در ذهن خود نگه دارند و با استفاده از این مجموعه و تعریف خودشان از نحوهٔ تصادفی بودن، دنباله اعداد را تولید و در حافظهٔ کوتاه مدت خود نگه دارند. بخشی از جملات تولید شده که در حافظهٔ کاری[4] ذخیره می‌شود و در نتیجه باعث توقف الگوهای ساده (مانند شمارش و یا تکرار) می‌شود.

تولید اعداد تصادفی احتیاج به یک استراتژی دارد که فرد را قادر می‌سازد، پاسخی خاص را از میان مجموعه پاسخ‌ها انتخاب کند. پیشنهاد شده‌است که این بخش پردازشی مهم‌ترین قسمت تولید اعداد تصادفی است. پروسه مشاهده[5] هم یکی از بخش‌های مهم در تولید اعداد تصادفی است. این قسمت می‌تواند نمایان‌گر

[3] Allen baddelly
[4] Working memory
[5] Monitoring Process

این مطلب باشد که گزینه‌های مربوطه در ذهن فرد شکل می‌گیرد و بر اساس درک فرد از مفهوم تصادفی بودن با هم مقایسه می‌شوند تا سرانجام فرد شرکت‌کننده بتواند به هدف تولید سری تصادفی برسد[۱].

فاصله از جملات تصادفی درست، در سری جملات تولیدی تصادفی توسط افراد با نارسایی‌های ذهنی و افراد مسن گزارش شده است. اما به طور کلی انسان به عنوان یک تولید کنندهٔ بد در اعداد تصادفی شناخته می‌شود که همواره دارای بایاسی نسبت به تصادفی درست است. در مطالعاتی که در این زمینه انجام شده‌است به این نتیجه رسیده‌اند که جملات تولیدی توسط انسان‌ها به علت دارا بودن ارتباط با هم، آن‌ها را برای مقاصد رمزنگاری بی‌کاربرد می‌کند[۱].

یک اعتقاد در معنای تصادفی بودن، غیر تکراری بودن آن است. یعنی یک جملهٔ ۱۶۳۸۵ بیشتر از جملهٔ ۷۷۷۷۷۷ و یا ۱۲۳٤٥٦۷ تصادفی است، با این وجود تمام این جملات به یک احتمال ممکن است خروجی یک تولیدکنندهٔ اعداد تصادفی باشند. اگر لازم باشد که اعداد تصادفی درست در ذهن شکل بگیرند این بایاسهای ذهنی از بروز چنین جملاتی جلوگیری می‌کند[۳].

۱-۲: توانایی انسان‌ها در تولید اعداد تصادفی درست

در پژوهشی که در سال ۲۰۰۵ انجام شد، میزان تصادفی بودن اعداد تولیدی توسط افراد مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی بر روی ۷ فرد انجام گرفت، و رشته های اعداد تولید شده به منظور تحلیل یکنواختی و مستقل بودن بررسی شدند. نتایج نشان دهنده این مطلب بودند که انسان قادر به تولید اعداد تصادفی است که دارای توزیع یکنواخت است و هیچ گونه الگوی خاصی را دربر ندارد و هیچ مدرکی بر اساس تست χ^2 مبتنی بر اینکه توزیع غیر یکنواخت است، بدست نیامد[۲]. این مقاله تنها موردی بود که انسان را به عنوان یک تولید کننده خوب اعداد تصادفی معرفی کرده بود. نتایج این مطالعه نشان دهنده این مطلب بود که افراد در تولید اعداد تصادفی نزدیک به اعداد تصادفی واقعی هستند. این نتیجه‌گیری بسیار بزرگ بر روی مجموعه بسیار کوچکی گرفته شد و به فاصله اندکی پس از انتشار این مطلب، توسط دیگران بازنگری و تکرار شد. اولین آزمایش بر روی ۳۷ فرد انجام شد. در این مطالعه با استفاده از معیارهای تصادفی بودن، توانایی انسان برای

تولید اعداد تصادفی صحیح سنجیده شد. در این آزمایش احتمال تکرار یک عدد و نیز احتمال شمارش صعودی و نزولی در اعداد تصادفی واقعی و اعداد تولید شده توسط افراد محاسبه شد. این فاکتورها به روشنی نشان دادند که افرادی که در آزمایش شرکت کردند عملکرد ضعیفی به عنوان تولید کننده اعداد تصادفی داشتند [۱].

از مقالات گذشته چنین بر می‌آید که افرادی که دارای ناراحتی‌های ذهنی هستند توانایی تولید اعداد تصادفی را به درستی ندارند، اما این به این معنی نیست که افراد سالم توانایی تولید اعداد تصادفی درست را دارا می‌باشند. با وجود اینکه نتایج عملی بدست آمده در این مطالعه اثباتی است بر اینکه انسان تولید کنندهٔ خوبی برای اعداد تصادفی نمی‌باشد، اما این به معنی نقض کامل نظریهٔ موجود در مقالهٔ [۲] نمی‌باشد[۱].

اعداد تصادفی تولیدی در مغز با استفاده از الگوریتم‌های خاصی تولید می‌شود. نمی‌توان مطمئن بود که این عملگرها ویژگی‌های حسابی دارند، اما بر اساس دیتای مشاهده شده می‌توان گفت، این اعداد به گونه‌ای دارای الگوریتم بودند. یکی از دلایل برای اثبات این موضوع وجود اعداد مورد علاقهٔ افراد و یا تفاوت در فکر کردن در جهت الگوریتم‌وار یا شمارشی است[۱].

در آزمایش بعدی که بر روی این توانایی افراد انجام گرفت دو توضیح برای توجیه نتایج بدست آمده در [۲] بیان شد.

- انسان‌ها نمی‌توانند تولید اعداد تصادفی بنمایند، اما با اندکی فکر می‌توانند اعدادی را تولید کنند که به اندازهٔ کافی در تست تصادفی بودن اولیه کامل باشد و آزمایش [۲] یک نمونهٔ خوش شانس بود.
- افراد می‌توانند اعداد تصادفی را به عنوان یک عملکرد مغزی سطح پایین تولید کنند، اما اکثراً این توانایی را متوقف می‌کنند. در مورد آزمایش [۲]، یکی از شرایط محیط آزمایش این توقف را از بین برده است[۳].

با وجود این دو حالت، بر طبق مدل [۲] انسان دارای مکانیزمی برای تولید اعداد تصادفی درست می‌باشد. مدل معین در دید مرسوم خروجی را با استفاده از ذهن خودآگاه ما اصلاح می کند تا تعریف تصادفی بودن بر

روی آن منطبق گردد. اگر فرد این اعداد را ننویسد، ذهن آنها را فقط در حافظهٔ کوتاه مدت[6] خود نگه می دارد و نمره برای این نوع تصادفی بودن یا غیر تصادفی بودن بسته به تمرکز فرد و تعداد اعدادی است که در حافظهٔ کوتاه مدت کد شده است[۳].

سری مطالعاتی که در دهه ۹۰ برروی تولید اعداد انجام شد نشان داد که در حواس پرتی[7]، که حافظه کوتاه مدت دچار نقص می‌گردد، مثل کارهای همزمان که حافظه بر است، میزان تصادفی بودن جملات کاهش می-یابد. بعلاوه، هنگامی که از افراد خواسته شود که اعداد تصادفی را با سرعت تولید کنند، آنها به سمت تولید زنجیره‌های سنتی می روند ۱۲۳٤و۷٦٥٤۳و...[۳].

آزمایش تولید اعداد تصادفی این بار برای ۲۱ نفر تکرار شد. بعلاوه ٤ فرد مسن و ٤ فرد نوجوان هم در این مطالعه شرکت داشتند. نتایج حاصل نشان داد که احتمال اینکه هر عدد با عدد تکراری دنبال شود، در سری‌های تولید شده توسط افراد کمتر از اعداد تصادفی درست است و این پدیده به صورت مشخص تحت توزیع مربع کی است که در [۱] این اثر مشاهده نشد[۳].

در این آزمایش علاوه بر توانایی افراد در تولید اعداد تصادفی نقش تمرکز هم در تولید اعداد تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. تمرکز افراد (که در حقیقت جمع و ترکیب حافظهٔ کوتاه مدت و تمرکز است) با انتخاب زبانی غیر از زبان مادری افراد مختل شد. این کار قبلا امتحان شده بود، که فهمیده بودند بیان اعداد به زبانی غیر از زبان اصلی از تصادفی بودن آن می‌کاهد و زنجیره‌ای شمردن را زیاد می‌کند. آزمایش دوم پس از نوشیدن دو لیوان مشروب بود، که تمام عملکردهای مغزی را تا حدودی کاهش می‌دهد. نتایجی که در این دو تست بدست آمد، تفاوت چندانی با یافته های پیشین نداشت و تاثیر تمرکز را که در فرضیه اول مطرح شده بود، کمرنگ کرد، اما به فرضیه دوم قوت بخشید. مطالعات موجود در این مقاله نشان داد که انسان‌ها نمی‌توانند تولید اعداد تصادفی درستی بکنند اما اعدادی که آنها تولید می‌کنند دارای مکانیزمی است که به راحتی نمی‌توان آن را توصیف کرد. می‌توان گفت که یک مرکز خلاقیت در ذهن وجود دارد که این روش به آن مربوط است، و با

[6] executive memory
[7] distraction

استفاده از تابع خودآگاه بالاتری نظارت می‌شود. این نتایج پیشنهاد می‌کند که تولید اعداد تصادفی تحت مکانیزمی تولید می‌شود که به راحتی توسط مستی سطح پایین، آشفته یا تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد. عملکرد تولید اعداد تصادفی باید بدون توجه به اعداد قبلی صورت پذیرد تا کاملاً مطابق با معیارهای تصادفی بودن شود، اما در مغز این کار به سختی صورت می گیرد و عملکرد بالاتری مانع انجام این کار یا خلاقیت می‌شود. می‌توان گفت که این مسئله مرتبط با عملکرد درست مغز است. با این وجود خلاقیت در این کاربرد فقط به وجود آمدن و توانایی ایجاد ایده‌های جدید نیست، بلکه پیشرفت، اجرا و مهمتر از همه متوقف نکردن آنها، به این خاطر که غیر سنتی هستند را نیز شامل می‌شود[۳].

۱-۳: نواحی فعال در مغز حین تولید اعداد تصادفی

هنگامی که افراد یکسری کارها را در طول زمان انجام می‌دهند، ایدهٔ آنها برای انجام کارهای آینده، وابسته به کارهای زمان گذشتهٔ نزدیکشان است. انسان‌ها هم درست مانند سایر ارگانیزمها نیاز دارند تا کارهایشان را در ذهن نگه دارند و نقشه‌های عملی را برای کارهای آینده انتخاب کنند. این عملگرنمایشگر[۸] به نام تابع اجرایی[۹] خوانده می‌شود. مدل خیلی مهم برای کنترل و مشاهدهٔ زنجیره‌های اجرایی مغزی، تولید اعداد تصادفی می‌باشد. این کار احتیاج به تولید اعداد با نحوهٔ تصادفی دارد مثل فشار دادن کلیدهای اعداد در صفحه کلید کامپیوتر، معمولاً نرخ تولید توسط یک محرک خارجی کنترل می‌شود. مسلماً برای تولید اعداد و جلوگیری از ایجاد تکرار و یا شمارش، فرد احتیاج دارد که اعداد تولیدی را در حافظه کاری خود نگه دارد[٤].

مطالعات زیادی توانایی انسان را برای تولید اعداد تصادفی مورد بررسی قرار داده‌اند. به طور کلی اعداد تصادفی باید دارای هیچ الگوریتم خاصی در تولید نباشند و یا مکانیزمی که یک عدد را تولید می‌کند غیر وابسته به مکانیزم تولید عدد بعدی باشد. البته هنوز تعریف تصادفی بودن بحث بر انگیز است، برعکس غیرتصادفی بودن که دارای مفهومی واضح است. مطالعات زیادی مشخص کرده‌اند که انسان در هنگام تلاش برای تولید جملات تصادفی از حالت تصادفی بودن به صورت واضح خارج می‌شود. این عدم توانایی برای تولید درست جملات

[8] Monitoring
[9] Executive function

تصادفی ممکن است به خاطر درک نادرست از مفهوم تصادفی بودن ایجاد گردد . البته منطقی‌تر است که این فاصله گرفتن از حالت تصادفی صحیح، به فعالیت توابع اجرایی ذهن مربوط شود. زیرا این سیستم اجرایی دارای ظرفیت محدودی برای نگه داری جملات تصادفی تولید شده در حافظه کوتاه مدت[10] است. کار توابع اجرایی، ایجاد پاسخ‌های جدید و جلوگیری از ایجاد الگوریتم‌های اتوماتیک وار، توسط روندهای شناختی است[٤].

این یافته در نتیجه بررسی هایی ایجاد شده است که با ترکیب آزمایش‌های مختلف مانند افزایش سرعت در تولید اعداد، و یا اجرای کار دیگری همزمان با تولید اعداد، میزان تصادفی بودن اعداد تولید شده در افراد کاهش می‌یابد. حتی کسانی که تحصیلات ریاضی و استاتیک سطح بالایی داشتند، در مقایسه با سری‌های تصادفی درست منحرف شدند. این مطلب فرضیه درک نادرست از تصادفی بودن را از بین می‌برد[٤].

در گذشته مشخص شده‌است که تولید اعداد تصادفی باعث فعالیت لبهای جلویی در مغز می‌گردد. در برخی مطالعات سعی شد که زیر بنای عصبی تصادفی بودن را در مقابل تولید اعداد به صورت شمارشی قرار دهند. برای مثال یک مطالعه با استفاده از تکنیک تصویر برداری با گسیل پزیترون[11] بر روی افراد سالم مشخص کرد که در حین شمارش و تولید اعداد تصادفی نواحی توزیع شده قشری[12] فعال هستند. ناحیه‌ای که در حین تولید اعداد تصادفی از باقی ناحیه ها فعالتر است، قشر پیش پیشانی پشتی جانبی[13] است که به عنوان ناحیه‌ای برای جلوگیری از تکراری بودن فعالیت می‌کند و هستهٔ ساختاری برای جنبه های کنترل استراتژی رفتاری است. این نظریه با استفاده از تکنیک تحریک مغناطیسی مغز از طریق جمجمه[14] هم تایید شد و افزایش فعالیت را در ناحیه قشر پیش پیشانی پشتی جانبی چپ[15] در حین تولید اعداد تصادفی نشان داد. در یک بررسی که با استفاده از پتانسیلهای مرتبط با رویداد خاص[16] برروی مغز افراد در حال تولید اعداد تصادفی نسبت به همان افراد هنگامی که در حال شمارش اعداد به صورت ترتیبی بودند، انجام شد، مشخص شد که یک پیک منفی در سمت چپ ناحیه پیشانی،

[10] Working memory
[11] Positron Emission Tomography(PET)
[12] Distributed Cortex
[13] Dorsolateral Prefrontal Cortex
[14] Trans cranial Magnet Stimulation
[15] Left Dorsolateral Prefrontal Cortex
[16] Event Related Potential(ERP)

۱٤۰ میلی‌ثانیه پس از تحریک در حین تولید اعداد تصادفی دیده شد. این پیک منفی مشخص کننده فعالیت قشر پیش پیشانی پشتی جانبی چپ و نشانی از فعالیت برای بازداری پاسخ از فرم عادی شدن است. نقشه فعالیت نرونهای مغزی ناشی از فعالیت حین تولید اعداد تصادفی و شمارش اعداد با محاسبهٔ توزیع سه بعدی قشری از چگالی جریان با استفاده از الگوریتم تصویربرداری الکترومغناطیسی مغزی با وضوح پایین[۱۷] محاسبه شد. نتیجه این بررسی در شکل ۱-۱ آورده شده است که مکان فعالیت مغزی را در تولید اعداد تصادفی نسبت به شمارش ترتیبی اعداد مشخص می‌کند. شکل ۱-الف، نشان دهنده یک منفی بودن مشخص در ناحیه پیش پیشانی پشتی جانبی چپ است که در پنجره زمانی ٤۰۰- تا ۲۰۰- میلی ثانیه قبل از تولید عدد و پس از شروع تحریک گرفته شده است. این تصویر با استفاده از نقشه‌های ایزوولتاژ درونیابی شده دایره‌ای کشیده شده است و تفاوت بین دامنه‌های بین پتانسیل‌های مرتبط با رویداد تولید اعداد تصادفی و شمارش نشان داده است. در شکل ب، تخمین فعالیت نرونی نشان داده شده است. پیکان مشخص کننده ماکزیمم محل فعالیت را نشان می‌دهد [٤].

[17] Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography