



مدل تعداد اقلام تصادفیده و مقایسه آن با مدل تصادفیده سایمون

سید محمدرضا علوی، سارا نیری مازی و محمدرضا آخوند

دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده:

در بسیاری از آمارگیری‌های نمونه‌ای متغیرهای مورد علاقه همچون تقلب دانشجویان دارای ماهیت حساس هستند. در چنین موقعیت‌هایی افراد به سؤال مستقیم پاسخ‌های نادرست می‌دهند یا از پاسخ دادن امتناع می‌ورزند. روش‌های مختلف غیرمستقیم از جمله روش پاسخ تصادفیده و روش تعداد اقلام برای جمع‌آوری اطلاعات حساس معرفی شده است. در این مقاله ابتدا یک روش تعداد اقلام جدید معرفی شده و سپس گونه تصادفیده آن با نام مدل تعداد اقلام تصادفیده معرفی می‌شود. برآوردی نارایب برای نسبت حساس با استفاده از این مدل به دست آورده می‌شود. واریانس این برآوردکننده و برآوردی برای این واریانس معرفی می‌شود. یک معیار کمی برای مقایسه توأم کارایی و محرمانگی معرفی می‌شود. با استفاده از شبیه‌سازی مدل پیشنهادی ارزیابی و کارایی و محرمانگی آن با روش تصادفیده سایمون مقایسه می‌شود. براساس این معیار برتری روش پیشنهادی بر سایمون نشان داده می‌شود. نسبت تقلب دانشجویان در دانشگاه شهید چمران اهواز با استفاده از مدل پیشنهادی برآورد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پاسخ تصادفیده، روش تعداد اقلام، متغیر حساس، نسبت تقلب دانشجویان، تعداد اقلام تصادفیده.

*آدرس الکترونیک مسئول مقاله: نام نویسنده، alavi_m@scu.ac.ir
کد موضوع بندی ریاضی (۲۰۱۰): 62D05

۱ مقدمه

در همه جوامعی که با انسان سروکار دارند نیاز اساسی به روش‌هایی برای برآورد نسبت ویژگی‌های حساس، احساس می‌شود. برآورد نسبت ویژگی حساس می‌تواند برای ارائه برنامه‌های راهبردی و برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار گیرد. معمولاً در چنین مواردی برای اجتناب از بی‌پاسخی بیش از حد یا پاسخ‌های گمراه‌کننده از روش‌های غیرمستقیم برای جمع‌آوری اطلاعات استفاده می‌شود. روش‌های پاسخ تصادفیده و تعداد اقلام از جمله مهم‌ترین روش‌های غیرمستقیم هستند. روش پاسخ تصادفیده اولین بار توسط وارنر (۱۹۶۵) ابداع شد. در این روش پاسخ دهنده با انجام یک آزمایش برنولی با احتمال پیروزی p سؤال حساس (متغیر برنولی S) و با احتمال شکست $1-p$ ، مکمل آن $(1-S)$ را پاسخ می‌دهد.

پاسخ تصادفیده به روش وارنر به صورت یک متغیر برنولی

$$Z = \begin{cases} S & \text{با احتمال } p \\ 1-S & \text{با احتمال } 1-p \end{cases}$$

با احتمال موفقیت $E(Z) = p\pi + (1-p)(1-\pi)$ نشان داده می‌شود، که در آن π بیانگر نسبت ویژگی حساس است $E(S) = \pi$. بنابراین اگر Z_1, \dots, Z_n پاسخ‌های تصادفیده یک نمونه تصادفی از افراد براساس روش وارنر باشند، یک برآورد کننده ناریب برای π به صورت $\hat{\pi}_{wv} = \frac{\bar{Z} - (1-p)}{p-1}$ است، که در آن \bar{Z} میانگین نمونه پاسخ تصادفیده را نشان می‌دهد.

۱.۱ روش پاسخ تصادفیده سایمون

گرینبرگ و همکاران (۱۹۶۹) روش سایمون را با جایگذاری یک سؤال غیرحساس نامرتبط (متغیر برنولی T) به جای سؤال مکمل در روش وارنر معرفی کردند. آنها ادعا کردند که چون از جنبه تصادفی بیشتری استفاده شده، محرمانگی روش آنها بیشتر از روش وارنر است.

پاسخ تصادفیده به روش سایمون می‌تواند به صورت یک متغیر برنولی

$$Z = \begin{cases} S & \text{با احتمال } p \\ T & \text{با احتمال } 1-p \end{cases}$$

با احتمال موفقیت $E(Z) = p\pi + (1-p)\theta$ بیان شود، که در آن θ بیانگر نسبت ویژگی غیرحساس

است $E(T) = \theta$. بنابراین اگر Z_1, \dots, Z_n پاسخ‌های تصادفیده یک نمونه تصادفی از افراد براساس روش سایمون و θ معلوم باشد، یک برآورد کننده ناریب برای π برابر $\hat{\pi}_S = \frac{\bar{Z} - (1-p)\theta}{p}$ است. در روش‌های پاسخ تصادفیده از پاسخ‌دهنده خواسته می‌شود که پاسخ خود به سؤال حساس را به‌گونه‌ای تصادفی بیان کند. این کار براساس ترفندهای تصادفی خاصی انجام می‌شود. برخی از ابزار تصادفی کردن شامل پرتاب تاس، پرتاب سکه، استفاده از دسته کارت و جدول اعداد تصادفی هستند. از آنجا که پاسخ به‌دست آمده توسط این ابزار تصادفی است، در نهایت پاسخ پاسخ‌دهنده مخفی می‌ماند. روش‌های پاسخ‌های تصادفیده را می‌توان به دو دسته اصلی کیفی^۱ و کمی^۲ طبقه‌بندی کرد. منگات و سینگ (۱۹۹۰)، منگات (۱۹۹۴)، کیم و وارد (۲۰۰۴)، جستوانگ و سینگ (۲۰۰۶)، چادری (۲۰۱۰)، علوی و تاج‌الدینی (۱۳۹۴ و ۲۰۱۶) از جمله نویسندگانی هستند که روش‌های کیفی را مطالعه کردند. ایچهارن و هایلر (۱۹۸۳)، یزاری و علوی (۱۳۹۳)، مهتا و همکاران (۲۰۱۲)، گوپتا و همکاران (۲۰۱۳) از جمله کسانی هستند که روش‌های کمی را مطالعه کرده‌اند.

۲.۱ روش تعداد اقلام

روش تعداد اقلام^۳ (ICT) اولین بار توسط اسمیت و همکاران (۱۹۷۵) تحت عنوان روش پاسخ مجموع بلوکی^۴ معرفی شد و بعد از آن میلر (۱۹۸۴) آن را توسعه داد. در این روش مصاحبه شونده‌گان به‌طور تصادفی به دو زیرنمونه تقسیم می‌شوند و به هر کدام از اعضای نمونه اول فهرستی از g سؤال غیرحساس داده می‌شود و به هر کدام از اعضای زیرنمونه دوم فهرستی از $g + 1$ سؤال داده می‌شود که مشتمل بر همان g سؤال غیرحساس به همراه یک سؤال حساس است. تمام سوالات حساس و غیرحساس دارای پاسخ‌های دو حالتی (بله و خیر) هستند. از پاسخ دهندگان در هر زیر نمونه خواسته می‌شود که فقط تعداد پاسخ "بله" را به محقق گزارش دهند بدون اینکه پاسخ هر قلم از سوالات را بیان کند. برآوردگر ناریب نسبت حساس در جامعه را می‌توان با پیدا کردن تفاوت میانگین تعداد پاسخ "بله" در دو زیرنمونه تصادفی پیدا کرد. کاتس و جان (۲۰۱۱) این روش را با روش‌های پاسخ‌های تصادفیده مقایسه کرده‌اند. چادری و کریستوفیدز (۲۰۰۷)، تسچیا و همکاران (۲۰۰۷)، ایما (۲۰۱۱)، حسین و همکاران (۲۰۱۲) و تیان و همکاران (۲۰۱۵) از دیگر نویسندگانی هستند که روش تعداد اقلام را مطالعه کرده‌اند. انگیزه اصلی در اکثر تحقیقات در مطالعات ویژگی حساس، بیان روشی است که

¹Qualitative Response Models

²Quantitative Response Models

³Item Count Technique

⁴Block Total Response Technique

درجه محرمانگی را افزایش دهد. یک معیار شهودی که معمولاً استفاده می‌شود افزایش جنبه تصادفی کردن پاسخ به سؤال حساس است، به‌گونه‌ای که پاسخگو احساس کند پاسخ او به سؤال حساس محرمانه می‌ماند. هرچه جنبه تصادفی کردن در روش غیرمستقیم بالا رود، حفاظت از محرمانگی بیشتر می‌شود. از طرفی افزایش جنبه تصادفی از لحاظ آماری سبب افزایش واریانس برآوردکننده می‌شود. بنابراین با مرور کلی روش‌های غیرمستقیم (روش‌های پاسخ تصادفیده و روش تعداد اقلام) نویسندگانی زیادی اقدام به معرفی روش‌های جدیدی کرده و ادعا کرده‌اند که روش آنها سبب افزایش محرمانگی می‌شود. دلیل اکثر آنها محاسبه یک معیار کمی صریح نبوده استفاده بیشتر از جنبه تصادفی ملاک آن‌ها بوده است، به‌عنوان مثال گرینبرگ و همکاران (۱۹۶۹) ادعا کردند که روش آنها (روش سایمون) نسبت به روش وارنر سبب افزایش محرمانگی می‌شود. چون در مقایسه با روش وارنر یک جنبه تصادفی بیشتر دارد و آن استفاده از سؤال بدون ارتباط غیرحساس بود. با اضافه کردن مراحل که جنبه تصادفی داشت روش‌های تصادفی دو مرحله‌ای زیادی از جمله منگات و سینگ (۱۹۹۰)، منگات (۱۹۹۴) و کیم و وارد (۲۰۰۴) و روش‌های چند مرحله‌ای چون جستوانگ و سینگ (۲۰۰۶)، چادری (۲۰۱۰)، علوی و تاج‌الدینی (۱۳۹۴ و ۲۰۱۶)، مهتا و همکاران (۲۰۱۲)، گوپتا و همکاران (۲۰۱۳) و یزاری و علوی (۱۳۹۳) برای افزایش محرمانگی توسط نویسندگانی زیادی ابداع شدند. با مطالعه این روش‌ها در می‌یابیم انگیزه ابداع آنها صرفاً افزایش محرمانگی بر اساس افزایش جنبه تصادفی بوده و لزوماً این روش‌ها کارایی بیشتری نسبت به روش‌های قبلی از جمله روش وارنر و سایمون نداشته‌اند. البته برای روش‌های تصادفیده‌ای که پاسخ تصادفیده آن‌ها به‌صورت بله و خیر بود، دو معیار کمی توسط لانک (۱۹۷۶) و لیسپور (۱۹۷۹) که باز جنبه شهودی داشتند بر مبنای محاسبه احتمال شرطی پاسخ تصادفیده بله به شرط وقوع خصوصیت حساس معرفی شدند. آنها تحت فرض یکسان بودن این معیارها واریانس یک روش را نسبت به دیگری مقایسه می‌کردند. طبق این دو معیار گوئریرو و ساردینی (۲۰۰۷) بیان داشتند که به‌ندرت روشی پیدا می‌شود که به‌طور یکنواخت کمترین واریانس را داشته باشد و بیان کردند، که در مقایسه دو مدل تصادفیده با پاسخ بله و خیر، تحت بعضی شرایط مدل اول برتری دارد و تحت شرایط دیگر مدل دوم برتر است. به‌رحال به دلیل پیچیدگی محاسبه این دو معیار در بسیاری از روش‌های پاسخ تصادفیده، و عدم محاسبه آن‌ها در روش‌هایی که پاسخ تصادفیده آنها به‌صورت یک عدد حقیقی است هم‌چون روش جستوانگ و سینگ (۲۰۰۶) و روش تعداد اقلام (به دلیل عدم محاسبه احتمال شرطی) مورد اقبال محققان زیادی قرار نگرفته است و هنوز مبنای شهودی افزایش جنبه تصادفی ملاک افزایش محرمانگی معرفی روش‌های جدید است.

در مطالعات ویژگی حساس اهمیت حفاظت از محرمانگی بیش از کارایی است، زیرا با افزایش نمونه می‌توان واریانس را کاهش داد اما حتی با سرشماری نمی‌توان حفاظت از محرمانگی را افزایش داد. به عبارت دیگر انتظار می‌رود با افزایش حجم نمونه روش تصادفیده برآورد معتبری برای نسبت حساس تعیین کند، در صورتی‌که حتی با سرشماری، به روش مستقیم نمی‌توان نسبت معتبری برای نسبت حساس به‌دست آورد.

در بخش ۲ ابتدا یک گونه جدید تعداد اقلام براساس یک نمونه معرفی و سپس یک مدل جدید به‌نام تعداد اقلام تصادفیده برای برآورد نسبت حساس پیشنهاد و واریانس آن به‌همراه یک برآورد برای آن معرفی می‌شود. در بخش ۳ یک معیار جدید برای مقایسه توأم کارایی و محرمانگی معرفی می‌شود. با استفاده از شبیه‌سازی مدل پیشنهادی ارزیابی و کارایی آن با روش تصادفیده سایمون مقایسه می‌شود و براساس این معیار جدید نشان داده می‌شود که مدل پیشنهادی از مدل سایمون بهتر است. در بخش ۴ نسبت تقلب در دانشگاه شهید چمران اهواز با استفاده از مدل پیشنهادی برآورد می‌شود. در بخش ۵ بحث و نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

۲ مدل تعداد اقلام تصادفیده پیشنهادی

در این بخش، چون اجرای نمونه‌گیری با دو نمونه هزینه بیشتری دارد، برای کاهش هزینه و راحتی اجرای نمونه‌گیری، ابتدا یک روش جدید تعداد اقلام براساس یک نمونه معرفی می‌شود. در این روش به هر مصاحبه‌شونده پرسشنامه‌ای شامل $g+1$ سؤال ارائه می‌شود که j امین سؤال شامل پرسشی درباره یک متغیر برنولی غیرحساس T_j با احتمال پیروزی θ_j ($j = 1, \dots, g$) و آخرین سؤال درباره متغیر برنولی حساس S است. سپس از مصاحبه‌شونده درخواست می‌شود از مجموع پاسخ $g+1$ متغیر برنولی یک واحد را کم کند ($X+S-1$) و نتیجه را در پاسخ‌نامه درج کند. اگر پاسخ تعداد اقلام را با U نمایش دهیم، $U = X + S - 1$ که $X = \sum_{i=1}^g T_i$ مجموع پاسخ g متغیر غیرحساس است. پاسخ تعداد اقلام U مقادیر از صفر تا g را اختیار می‌کند. فقط اگر پاسخ g باشد، محرمانگی حفظ نمی‌شود. میانگین U برابر

$$E(U) = \sum_{i=1}^g \theta_i + \pi - 1, \quad (1)$$

است. با فرض استقلال S و T_j ها واریانس U برابر

$$V(U) = \sum_{i=1}^g \theta_i(1 - \theta_i) + \pi(1 - \pi), \quad (2)$$

است. بنابراین اگر U_1, \dots, U_n پاسخ‌های تعداد اقلام یک نمونه تصادفی از افراد θ_i ها معلوم باشند، یک برآورد کننده ناریب برای π برابر

$$\hat{\pi} = \bar{U} - \sum_{i=1}^g \theta_i + 1 \quad (3)$$

و واریانس این برآوردکننده برابر

$$V(\hat{\pi}) = \frac{\sum_{i=1}^g \theta_i(1 - \theta_i) + \pi(1 - \pi)}{n} \quad (4)$$

است. متأسفانه در این روش اگر پاسخ تعداد اقلام g باشد، محرمانگی حفظ نمی‌شود. بنابراین برای حفظ هر چه بیشتر محرمانگی با تصادفیده کردن این روش تعداد اقلام، مدل جدیدی را با نام تعداد اقلام تصادفیده پیشنهاد می‌شود. در این مدل پیشنهادی از مصاحبه‌شونده درخواست می‌شود یک آزمایش برنولی با احتمال پیروزی p انجام دهد. اگر پیروزی رخ دهد، X و در غیر این صورت U را در پاسخ‌نامه ثبت کند. بنابراین اقلام تصادفیده برابر

$$Z = \begin{cases} X & \text{با احتمال } p \\ U & \text{با احتمال } 1 - p \end{cases} \quad (5)$$

است. اگر W ، T_j و S متغیرهای برنولی به ترتیب با احتمالات پیروزی p ، θ_j و π باشند، پاسخ تعداد اقلام تصادفیده به صورت

$$Z = WX + (1 - W)(X + S - 1) = X + (1 - W)(S - 1) \quad (6)$$

نیز قابل بازنویسی است. واضح است که Z یک متغیر تصادفی گسسته است که مقادیر صفر تا g را با تابع احتمال آمیخته

$$P(Z = z) = f_Z(z) = pf_X(z) + (1 - p)f_U(z), \quad (7)$$

اختیار می‌کند، که در آن $f_X(\cdot)$ و $f_U(\cdot)$ به ترتیب تابع احتمال متغیرهای تصادفی X و U هستند. بنا به قاعده میانگین و واریانس مضاعف میانگین و واریانس Z به ترتیب به صورت

$$E(Z) = \sum_{i=1}^g \theta_i - (1 - p) + (1 - p)\pi, \quad (8)$$

$$V(Z) = \sum_{i=1}^g \theta_i(1 - \theta_i) + (1 - p)(1 - \pi)[1 - (1 - p)(1 - \pi)], \quad (9)$$

هستند. در حالت خاص $\theta_j = \theta$ ، رابطه (۷) به صورت

$$f_Z(z) = p \binom{g}{z} \theta^z (1-\theta)^{g-z} + (1-p) \sum_{j=0}^g \binom{g}{j} \theta^j (1-\theta)^{g-j} \pi^{z-1-j} (1-\pi)^{2-z+j} \quad (10)$$

است. فرض کنید Z_1, \dots, Z_n پاسخهای تصادفیده افراد یک نمونه تصادفی به حجم n باشند، بنا به (۸) به

روش گشتاوری یک برآورد کننده گشتاوری به صورت

$$\hat{\pi}_P = \frac{\bar{Z} - \sum_{i=1}^g \theta_i + (1-p)}{1-p} \quad (11)$$

با واریانس

$$V(\hat{\pi}_P) = \frac{V(Z)}{n(1-p)^2} = \frac{\sum_{i=1}^g \theta_i(1-\theta_i) + (1-p)(1-\pi)[1 - (1-p)(1-\pi)]}{n(1-p)^2} \quad (12)$$

معرفی می‌گردد. یک برآورد نااریب برای این واریانس برابر

$$\hat{V}(\hat{\pi}_P) = \frac{s_Z^2}{n(1-p)^2} \quad (13)$$

است، که در آن s_Z^2 واریانس نمونه پاسخ تصادفیده است. در حالت خاص برای $\theta_j = \theta$ ، داریم:

$$\hat{\pi}_P = \frac{\bar{Z} - g\theta + (1-p)}{1-p} \quad (14)$$

$$V(\hat{\pi}_P) = \frac{g\theta(1-\theta) + (1-p)(1-\pi)[1 - (1-p)(1-\pi)]}{n(1-p)^2} \quad (15)$$

۳ مطالعه شبیه‌سازی

برای ارزیابی برآورد روش پیشنهادی در ۱۰۰۰۰ تکرار شبیه‌سازی نمونه‌هایی به حجم ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ از توزیع برنولی با احتمال پیروزی معلوم π انتخاب کرده سپس داده‌های تعداد اقلام تصادفیده را در حالت $\theta_j = \theta$ با مقادیر مختلف θ و g به ازای $p = 0.5$ بنا به (۶) تولید کرده سپس برآورد π را با استفاده از رابطه (۱۴) برای هر تکرار محاسبه کردیم. میانگین و واریانس این ۱۰۰۰۰ تکرار به‌عنوان امید ریاضی و واریانس برآورد پیشنهادی در جداول ۱ تا ۳ آمده است. جهت مقایسه کارایی روش پیشنهادی با روش سایمون در ۱۰۰۰۰ تکرار شبیه‌سازی نمونه‌هایی به حجم ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ از توزیع برنولی با احتمال پیروزی معلوم π انتخاب کرده سپس

داده‌های پاسخ تصادفیده سایمون را برای سؤال نامرتب با احتمال ویژگی غیر حساس θ به ازای $p = 0.5$ و با مقادیر مختلف θ تولید کرده سپس برآورد π را با استفاده از برآورد سایمون رابطه (۹۹) محاسبه کردیم. میانگین و واریانس این ۱۰۰۰۰ تکرار به‌عنوان امید ریاضی و واریانس برآورد سایمون در جداول ۱ تا ۳ آمده است.

جدول ۱: اریبی و واریانس مدل‌های پیشنهادی و سایمون برای $\theta = 0.1$ (با شرط $\theta = \theta_j$) و $p = 0.5$ برای مقادیر g و π با نمونه‌های به حجم $2^0, 5^0$ و 10^0 در تکرار شبیه‌سازی.

		π												
		0.8		0.7		0.5		0.3		0.1				
$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$\sum_{i=1}^g \theta_i$	g	n
0.094	0.890	0.080	0.696	0.089	0.500	0.099	0.298	0.107	0.101	0.03	3	3	20	
0.082	0.894	0.097	0.701	0.109	0.503	0.113	0.293	0.121	0.099	0.04	4	4	4	
0.100	0.905	0.188	0.699	0.123	0.497	0.137	0.302	0.140	0.096	0.05	5	5	5	
0.116	0.898	0.134	0.705	0.145	0.507	0.154	0.303	0.156	0.100	0.06	6	6	6	
0.049	0.897	0.048	0.700	0.043	0.505	0.031	0.302	0.018	0.103	سایمون				
0.026	0.899	0.032	0.700	0.036	0.502	0.034	0.299	0.042	0.098	0.03	3	3	50	
0.033	0.900	0.039	0.700	0.043	0.497	0.043	0.295	0.047	0.100	0.04	4	4	4	
0.038	0.899	0.046	0.700	0.050	0.500	0.050	0.302	0.055	0.099	0.05	5	5	5	
0.047	0.902	0.054	0.700	0.058	0.499	0.060	0.300	0.064	0.098	0.06	6	6	6	
0.020	0.901	0.019	0.699	0.016	0.498	0.013	0.302	0.007	0.099	سایمون				
0.013	0.901	0.016	0.699	0.018	0.502	0.020	0.300	0.021	0.102	0.03	3	3	100	
0.016	0.901	0.018	0.697	0.022	0.498	0.024	0.295	0.024	0.100	0.04	4	4	4	
0.019	0.899	0.022	0.700	0.025	0.497	0.027	0.301	0.029	0.102	0.05	5	5	5	
0.023	0.899	0.026	0.701	0.029	0.499	0.031	0.299	0.031	0.103	0.06	6	6	6	
0.010	0.901	0.009	0.700	0.008	0.500	0.006	0.300	0.004	0.100	سایمون				

نتایج شبیه‌سازی نارایی برآوردکننده‌های پیشنهادی و سایمون را تأیید می‌کنند و با افزایش n واریانس هر دو روش کاهش پیدا می‌کند. هر چه θ به 0.5 نزدیک می‌شود واریانس‌ها افزایش می‌یابند. به‌ازای هر مقدار از n با افزایش g واریانس روش پیشنهادی افزایش پیدا می‌کند. با توجه به جداول ۱ تا ۳ با افزایش حجم نمونه و مقادیر مختلف θ ، واریانس برآوردکننده‌ها کاهش می‌یابد و در همه موارد واریانس روش پیشنهادی بیشتر از روش سایمون است. البته این بزرگی واریانس دور از انتظار نبود چون، روش سایمون در مقایسه با

جدول ۲: اریبی و واریانس مدل‌های پیشنهادی و سایمون برای $\theta = 0.5$ (با شرط $\theta = \theta_j$) و $p = 0.5$ برای مقادیر g و π با نمونه‌های به حجم $20, 50$ و 100 در 10000 تکرار شبیه‌سازی.

π										$\sum_{i=1}^g \theta_i$	g	n
0.8		0.7		0.5		0.3		0.1				
$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$			
0.157	0.898	0.177	0.702	0.188	0.504	0.190	0.303	0.203	0.099	1/5	3	20
0.208	0.897	0.224	0.702	0.236	0.449	0.244	0.286	0.249	0.103	2	4	
0.250	0.898	0.276	0.700	0.228	0.501	0.307	0.297	0.297	0.103	2/5	5	
0.306	0.901	0.330	0.691	0.338	0.498	0.342	0.301	0.335	0.098	3	6	
0.43	0.900	0.48	0.702	0.50	0.500	0.49	0.298	0.42	0.100	سایمون		
0.062	0.902	0.068	0.697	0.076	0.495	0.077	0.304	0.080	0.098	1/5	3	50
0.084	0.898	0.092	0.698	0.092	0.497	0.096	0.298	0.098	0.101	2	4	
0.103	0.907	0.110	0.704	0.116	0.506	0.122	0.298	0.122	0.097	2/5	5	
0.124	0.903	0.130	0.702	0.137	0.493	0.135	0.303	0.138	0.096	3	6	
0.17	0.902	0.19	0.702	0.20	0.498	0.19	0.301	0.17	0.098	سایمون		
0.032	0.902	0.035	0.704	0.038	0.500	0.038	0.298	0.040	0.101	1/5	3	100
0.041	0.901	0.045	0.699	0.047	0.496	0.051	0.301	0.050	0.099	2	4	
0.052	0.897	0.054	0.702	0.058	0.498	0.060	0.300	0.060	0.102	2/5	5	
0.061	0.899	0.065	0.694	0.067	0.501	0.069	0.306	0.070	0.102	3	6	
0.08	0.901	0.10	0.700	0.10	0.501	0.10	0.300	0.08	0.101	سایمون		

روش پیشنهادی فقط یک جنبه تصادفی دارد، در حالیکه در روش پیشنهادی از $g + 2$ جنبه تصادفی استفاده شده است که محافظت از محرمانگی را به شدت افزایش می‌دهد. با افزایش حجم نمونه انتظار می‌رود که برای مقادیر کوچک g کارایی مدل پیشنهادی تقریباً نصف در مقابل محرمانگی ۵ برابر مدل سایمون شود.

تاکنون یک معیار کمی برای محاسبه میزان محرمانگی در روش‌هایی که پاسخ تصادفیده آنها یک عدد حقیقی است توسط محققین ارائه نشده است تا بتوان با استفاده از آن معیار محرمانگی روش پیشنهادی را تعیین کرد. در این مقاله بر اساس معیار شهودی تعداد جنبه تصادفی به کار رفته در روش‌های غیر مستقیم برای

جدول ۳: آریبی و واریانس مدل‌های پیشنهادی و سایمون برای $\theta = ۰.۸$ (با شرط $\theta = \theta_j$) و $p = ۰.۵$ برای مقادیر g و π با نمونه‌های به حجم ۲۰ ، ۵۰ و ۱۰۰ در ۱۰۰۰۰ تکرار شبیه سازی.

π												
۰.۸		۰.۷		۰.۵		۰.۳		۰.۱		$\sum_{i=1}^g \theta_i$	g	n
$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$	$V(\hat{\pi}_p)$	$E(\hat{\pi}_p)$			
۰/۰۶۲	۰/۹۰۰	۰/۰۷۸	۰/۷۰۰	۰/۰۹۲	۰/۵۰۲	۰/۰۹۹	۰/۳۰۰	۰/۱۰۲	۰/۰۹۸	۲/۷	۳	۲۰
۰/۰۸۰	۰/۹۰۲	۰/۰۹۶	۰/۷۰۰	۰/۱۰۸	۰/۵۰۱	۰/۱۱۸	۰/۲۹۵	۰/۱۲۱	۰/۱۰۰	۳/۶	۴	
۰/۱۰۳	۰/۸۹۸	۰/۱۱۶	۰/۶۹۷	۰/۱۲۷	۰/۵۰۰	۰/۱۳۴	۰/۲۹۳	۰/۱۴۰	۰/۰۹۷	۴/۵	۵	
۰/۱۲۱	۰/۹۰۴	۰/۱۳۵	۰/۷۰۰	۰/۱۵۴	۰/۴۹۷	۰/۱۵۴	۰/۳۰۰	۰/۱۵۹	۰/۱۰۸	۵/۴	۶	
۰/۰۱۸	۰/۸۹۷	۰/۰۳۱	۰/۷۰۳	۰/۰۴۱	۰/۵۰۲	۰/۰۴۷	۰/۳۰۰	۰/۰۴۹	۰/۱۰۲	سایمون		
۰/۰۲۶	۰/۸۹۹	۰/۰۳۲	۰/۶۹۸	۰/۰۳۶	۰/۵۰۰	۰/۰۳۹	۰/۲۹۹	۰/۰۴۰	۰/۰۹۸	۲/۷	۳	۵۰
۰/۰۳۲	۰/۹۰۰	۰/۰۳۸	۰/۷۰۳	۰/۰۴۳	۰/۴۹۸	۰/۰۴۶	۰/۳۰۱	۰/۰۴۹	۰/۱۰۰	۳/۶	۴	
۰/۰۳۹	۰/۸۹۹	۰/۰۴۶	۰/۶۹۸	۰/۰۵۱	۰/۵۰۰	۰/۰۵۳	۰/۲۹۷	۰/۰۵۷	۰/۱۰۱	۴/۵	۵	
۰/۰۴۷	۰/۹۰۲	۰/۰۵۵	۰/۷۰۱	۰/۰۵۷	۰/۵۰۰	۰/۰۶۱	۰/۲۹۹	۰/۰۶۳	۰/۱۰۵	۵/۴	۶	
۰/۰۰۷	۰/۹۰۰	۰/۰۱۳	۰/۷۰۰	۰/۰۱۷	۰/۵۰۱	۰/۰۱۹	۰/۳۰۰	۰/۰۲۰	۰/۱۰۰	سایمون		
۰/۰۱۲	۰/۸۹۸	۰/۰۱۶	۰/۶۹۸	۰/۰۱۸	۰/۵۰۱	۰/۰۲۰	۰/۳۰۰	۰/۰۲۱	۰/۱۰۱	۲/۷	۳	۱۰۰
۰/۰۱۷	۰/۸۹۹	۰/۰۱۹	۰/۶۹۹	۰/۰۲۲	۰/۴۹۹	۰/۰۲۳	۰/۲۹۹	۰/۰۲۴	۰/۱۰۰	۳/۶	۴	
۰/۰۱۹	۰/۸۹۸	۰/۰۲۳	۰/۷۰۴	۰/۰۲۶	۰/۴۹۸	۰/۰۲۷	۰/۳۰۱	۰/۰۲۸	۰/۰۹۸	۴/۵	۵	
۰/۰۲۳	۰/۸۹۸	۰/۰۲۷	۰/۷۰۰	۰/۰۲۹	۰/۵۰۱	۰/۰۳۱	۰/۲۹۸	۰/۰۳۲	۰/۱۰۱	۵/۴	۶	
۰/۰۰۴	۰/۸۹۹	۰/۰۰۶	۰/۷۰۰	۰/۰۰۸	۰/۴۹۹	۰/۰۱۰	۰/۳۰۰	۰/۰۱۰	۰/۰۹۹	سایمون		

مقایسه برتری دو مدل تصادفیده، معیار جدید مجموع کارایی نسبی و محرمانگی نسبی^۵ به صورت

$$SEP = \frac{V(۲)}{V(۱)} + \frac{PRIV(۱)}{PRIV(۲)}$$

ارائه می‌شود، که در آن $PRIV(i)$ و $V(i)$ به ترتیب محرمانگی و واریانس مدل i را نشان می‌دهند. دامنه این معیار مقادیر نامنفی است. اگر دو روش محرمانگی و کارایی یکسان داشته باشند مقدار این معیار ۲ است و مقدار بیشتر از ۲ بهتر بودن مدل اول را نسبت به دوم نشان می‌دهد. به صورت شهودی، حفظ محرمانگی روش پیشنهادی به دلیل استفاده از $۲ + g$ جنبه تصادفی $۲ + g$ برابر روش سایمون است. هر چه g بزرگتر شود درجه محرمانگی افزایش و طبق رابطه (۱۶) کارایی کاهش می‌یابد. با کاهش g ، درجه محرمانگی کاهش

⁵Sum of efficiency and privacy

و کارایی افزایش می‌یابد. معیار SEP برای برتری مدل پیشنهادی نسبت به مدل سایمون به صورت

$$SEP = \frac{V(S)}{V(P)} + \frac{PRIV(P)}{PRIV(S)}$$

است، که در آن $PRIV(P)$ و $PRIV(S)$ به ترتیب میزان محرمانگی روش پیشنهادی و روش سایمون را نشان می‌دهند، و $V(P)$ و $V(S)$ به ترتیب واریانس برآورگر نسبت حساس روش پیشنهادی و روش سایمون هستند. در جداول ۴ تا ۶ این معیار به ازای مقادیر مختلف حجم نمونه، g ، θ و π محاسبه شده است، که نشان می‌دهد مدل پیشنهادی بهتر از مدل سایمون می‌باشد. قسمت صحیح مقادیر این معیار نسبت محرمانگی و قسمت اعشار آن کارایی نسبی را نشان می‌دهد. برای اندازه نمونه بزرگ و g ثابت با افزایش π در بازه یکدهم تا هفت دهم، مقدار این معیار (قسمت اعشار) افزایش می‌یابد، یعنی برای موضوع حساس غیر نادر روش پیشنهادی بهتر از گونه حساس نادر، نسبت را برآورد می‌کند. چون محرمانگی به حجم نمونه بستگی ندارد، افزایش حجم نمونه فقط سبب افزایش کارایی می‌شود. بنابراین با افزایش حجم نمونه و g و π در بازه سدهم و هفت دهم معیار افزایش می‌یابد.

از طرفی حداکثر درجه محرمانگی برای انتخاب p در هر دو مدل در $p = 0/5$ رخ می‌دهد، چون در انتخاب بین دو گزینه $p = 0/5$ هیچکدام را بر دیگری ترجیح نمی‌دهد (گرینبرگ و همکاران، ۱۹۶۹). بنابراین در تمام جداول از $p = 0/5$ استفاده شده است. انتظار می‌رود که با استفاده از روش پیشنهادی افراد مشارکت بیشتری در بررسی داشته باشند و با ارائه داده‌های واقعی اعتبار استنباط را افزایش دهند. بنابراین در بخش کاربردی در طراحی پرسشنامه تعداد اقلام تصادفیده، از یک آزمایش تصادفی استفاده می‌شود که در آن احتمال پیروزی $p = 0/5$ باشد.

۴ برآورد نسبت تقلب در دانشگاه با روش پیشنهادی

در این بخش با استفاده از روش پیشنهادی نسبت تقلب دانشجویان در دانشگاه شهید چمران برآورد می‌شود. جامعه آماری در این پژوهش، دانشجویان دانشگاه شهید چمران اهواز در نظر گرفته شده است. داده‌ها از مهر ماه تا دی ماه سال ۱۳۹۵ جمع‌آوری شدند. ابزار پژوهش، پرسشنامه مبتنی بر روش پیشنهادی است که توسط نویسندگان طراحی شده و از سکه به عنوان سؤال غیرحساس و از تاس به عنوان ترفند تصادفی استفاده شده است. پرسشنامه به صورت زیر طراحی شده بود:

جدول ۴: مقادیر معیار برتری مدل پیشنهادی نسبت به مدل سایمون (SEP) برای $\theta = 0.1$ (با شرط $\theta_j = \theta$) و $p = 0.5$ برای مقادیر g و π با نمونه‌های به حجم $20, 50, 100$ و 10000 تکرار شبیه‌سازی.

π					$\sum_{i=1}^g \theta_i$	g	n
0.9	0.7	0.5	0.3	0.1			
5/776	5/600	5/483	5/313	5/168	0/3	3	20
6/596	6/496	6/394	6/277	6/148	0/4	4	
7/490	7/255	7/350	7/226	7/129	0/5	5	
8/422	8/358	8/297	8/201	8/115	0/6	6	
5/769	5/593	5/444	5/382	5/167	0/3	3	50
6/606	6/487	6/372	6/302	6/149	0/4	4	
7/526	7/413	7/320	7/260	7/127	0/5	5	
8/426	8/352	8/276	8/217	8/109	0/6	6	
5/769	5/562	5/444	5/300	5/190	0/3	3	100
6/625	6/500	6/364	6/250	6/167	0/4	4	
7/526	7/409	7/320	7/222	7/138	0/5	5	
8/435	8/346	8/276	8/194	8/129	0/6	6	

دانشجوی عزیز لطفاً یک سکه را چهار بار بیندازید و سؤالات زیر را در نظر بگیرید:

سؤال اول: آیا سکه در بار اول شیر آمده است؟

سؤال دوم: آیا سکه در بار دوم شیر آمده است؟

سؤال سوم: آیا سکه در بار سوم شیر آمده است؟

سؤال چهارم: آیا سکه در بار چهارم شیر آمده است؟

سؤال پنجم: آیا شما تا کنون در امتحانات تقلب کرده‌اید؟

اکنون تاس را بیندازید اگر زوج رخ دهد فقط تعداد بله چهار سؤال اول را در کادر پاسخنامه درج و در غیر

اینصورت از تعداد بله پنج سؤال یک واحد کم و فقط آنرا در کادر پاسخنامه ثبت کنید.

جدول ۵: مقادیر معیار برتری مدل پیشنهادی نسبت به مدل سایمون (SEP) برای $\theta = 0.5$ (با شرط $\theta_j = \theta$) و $p = 0.5$ برای مقادیر g و π با نمونه‌های به حجم $20, 50, 100$ و 10000 تکرار شبیه‌سازی.

π					$\sum_{i=1}^g \theta_i$	g	n
0.9	0.7	0.5	0.3	0.1			
5/274	5/271	5/226	5/221	5/207	1/5	3	20
6/207	6/214	6/212	6/172	6/169	2	4	
7/172	7/174	7/174	7/137	7/141	2/5	5	
8/141	8/145	8/148	8/123	8/125	3	6	
5/274	5/279	5/263	5/247	5/212	1/5	3	50
6/202	6/207	6/217	6/198	6/173	2	4	
7/165	7/173	7/172	7/156	7/139	2/5	5	
8/137	8/146	8/146	8/141	8/123	3	6	
5/250	5/288	5/263	5/263	5/200	1/5	3	100
6/195	6/222	6/213	6/196	6/160	2	4	
7/154	7/185	7/172	7/167	7/133	2/5	5	
8/131	8/154	8/149	8/148	8/114	3	6	

پاسخنامه:

روش نمونه‌گیری به‌کار رفته در این پژوهش از نوع روش نمونه‌گیری طبقه‌بندی است که دانشکده‌ها به‌عنوان طبقه‌ها در نظر گرفته شده‌اند. از 10 دانشکده نمونه‌ای به حجم 681 دانشجوی انتخاب و از آنها تقاضا شده پرسشنامه طراحی شده را پاسخ دهند. با توجه به پرسشنامه طراحی شده در این تحقیق $g = 4$ و در چهار سؤال اول $\theta = \theta_j = 0.5$ است. چون مناسبترین مقدار p برای حفظ محرمانگی مقدار 0.5 است، برای تصادفی کردن تعداد ارقام از رخداد "زوج بودن" تاس استفاده شده است. با جایگذاری $g = 4$ ، $p = 0.5$ و $\theta = 0.5$ در رابطه‌های (14) و (13) برآورد نسبت تقلب و برآورد واریانس آن برای طبقه (دانشکده) h

جدول ۶: مقادیر معیار برتری مدل پیشنهادی نسبت به مدل سایمون (SEP) برای $\theta = 0.9$ (با شرط $\theta_j = \theta$) و $p = 0.5$ برای مقادیر g و π با نمونه‌های به حجم $20, 50$ و 100 در 10000 تکرار شبیه‌سازی.

π					$\sum_{i=1}^g \theta_i$	g	n
0.9	0.7	0.5	0.3	0.1			
5/290	5/397	5/516	5/475	5/480	2/7	3	20
6/225	6/323	6/287	6/398	6/405	3/6	4	
7/175	7/267	7/244	7/351	7/350	4/5	5	
8/149	8/230	8/301	8/305	8/308	5/4	6	
5/269	5/406	5/472	5/487	5/500	2/7	3	50
6/219	6/342	6/395	6/413	6/408	3/6	4	
7/179	7/283	7/333	7/358	7/351	4/5	5	
8/149	8/236	8/298	8/311	8/317	5/4	6	
5/333	5/375	5/444	5/500	5/476	2/7	3	100
6/235	6/316	6/364	6/435	6/417	3/6	4	
7/211	7/261	7/308	7/370	7/375	4/5	5	
8/174	8/222	8/276	8/322	8/312	5/4	6	

به‌ترتیب برابر

$$\hat{\pi}_{Ph} = \frac{\bar{Z}_h - 1/5}{0.5},$$

$$\hat{V}(\hat{\pi}_{Ph}) = \frac{\hat{V}_h(Z)}{0.25n_h} = \frac{(1-f_h)s_Z^2}{0.25n_h},$$

هستند، که در آنها $(1 - f_h)$ ضریب تصحیح واریانس برای نمونه‌گیری بدون جایگذاری در طبقه h است. در صورتی که تعداد طبقات L باشد، برآورد نسبت تقلب برای جامعه براساس روش پیشنهادی برابر

$$\hat{\pi}_P = \sum_{h=1}^L W_h \hat{\pi}_{Ph}, \quad (16)$$

است، که در آن $W_h = \frac{N_h}{N}$ وزن، N_h حجم طبقه h و $N = \sum_{h=1}^L N_h$ حجم کل جامعه است. واریانس $\hat{\pi}_P$ برابر

$$\hat{V}(\hat{\pi}_P) = \sum_{h=1}^L W_h^2 \hat{V}(\hat{\pi}_{Ph}), \quad (17)$$

است. در این پژوهش تعداد طبقات (دانشکده‌ها) $L = 10$ است. در جدول ۷ خلاصه‌ای از اطلاعات نمونه‌گیری پاسخ تصادفیده روش پیشنهادی آورده شده است. برآورد نسبت تقلب دانشکده‌ها به‌همراه برآورد واریانس آنها در دو ستون آخر جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷: خلاصه اطلاعات نمونه‌گیری و برآورد نسبت تقلب در دانشکده‌ها

دانشکده h	N_h	n_h	\bar{Z}_h	s_h	$\hat{\pi}_{Ph}$	$\hat{V}\hat{\pi}_{Ph}$
ادبیات	۷۸۴	۶۶	۱٫۹۲۴	۰٫۷۷۱	۰٫۳۹۳	۰٫۰۳۳
اقتصاد	۱۵۰۶	۵۴	۱٫۶۲۹	۷۸۴	۰٫۲۵۹	۰٫۰۴۴
الهیات	۶۰۰	۶۰	۱٫۶۰۰	۰٫۸۲۴	۰٫۲۰۷	۰٫۰۴۷
تربیت بدنی	۱۹۰	۴۳	۱٫۷۴۴	۰٫۸۵۹	۰٫۴۸۸	۰٫۰۵۳
علوم پایه	۷۶۳	۱۰۷	۱٫۷۶۶	۰٫۸۴۹	۰٫۵۳۲	۰٫۰۲۶
علوم آب	۱۸۳	۴۳	۲٫۳۰۲	۰٫۹۸۶	۱٫۶۰۴	۰٫۰۶۷
علوم تربیتی	۹۹۰	۹۳	۱٫۸۴۹	۱٫۲۶۳	۰٫۶۹۸	۰٫۰۶۲
علوم ریاضی	۸۰۰	۷۷	۱٫۷۲۹	۰٫۹۳۱	۰٫۵۸۴	۰٫۰۴۱
کشاورزی	۵۵۵	۵۰	۱٫۸۶۰	۱٫۰۴۹	۰٫۷۲۰	۰٫۰۸۰
مهندسی	۱۶۵۲	۸۸	۱٫۷۳۸	۰٫۸۵۰	۰٫۴۷۷	۰٫۰۳۱

بنابراین یک برآورد نااریب برای نسبت تقلب دانشجویان دانشگاه براساس روش پیشنهادی بنا بر رابطه (۱۶) برابر $0/40$ است. با جایگذاری مقادیر در رابطه (۱۷) و جذرگیری از آن خطای معیار برآورد $0/175$ می‌باشد.

۵ بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه ابتدا برای کاهش هزینه نمونه‌گیری در بررسی ویژگی حساس، یک روش جدید تعداد اقلام براساس یک نمونه معرفی شد. برای افزایش محرمانگی روش، گونه تصادفیده آن با نام تعداد اقلام تصادفیده معرفی شد. برآورد نارایی برای ویژگی حساس به همراه واریانس آن به دست آورده شد و یک برآورد ناریب برای واریانس نیز معرفی شد. یک معیار جدید برای مقایسه توأم کارایی و محرمانگی معرفی گردید. به کمک شبیه‌سازی، روش پیشنهادی با روش سایمون مقایسه و نشان داده شد که با این معیار روش پیشنهادی از روش سایمون بهتر است. با استفاده از روش پیشنهادی نسبت تقلب دانشجویان در دانشکده‌های دانشگاه شهید چمران اهواز برآورد براساس یک نمونه طبقه‌بندی به حجم ۶۸۱ دانشجو $0/40$ با خطای معیار $0/175$ محاسبه شد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از پیشنهادهای ارزنده داوران، هیئت‌تحریریه و ویراستار محترم مجله علوم آماری که باعث ارتقای مقاله شد، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

مراجع

- [۱] علوی، س. م. ر. و تاج‌الدینی، م. (۱۳۹۴)، یک روش پاسخ تصادفیده جدید و مقایسه آن با روش سایمون، *مجله علوم آماری ایران*، جلد ۹، شماره ۲، ۲۲۷-۲۳۹.
- [۲] یزاری، ز و علوی، س. م. ر. (۱۳۹۳)، مدل پاسخ تصادفیده ی کمی اختیاری سه مرحله‌ای، *مجله علوم آماری ایران*، جلد ۸، شماره ۲، ۲۴۵-۲۶۰.
- [3] Alavi, S. M. R. and Tajodini (2016), Maximum likelihood Estimation of Sensitive Proportion Using Repeated Randomized Response Techniques, *Journal of Applied Statistics*, **43**, 563-571.
- [3] Chaudhuri, A. (2010), *Randomized Response and Indirect Questioning Techniques in Surveys*, New York, CRC Press.

- [4] Chaudhuri, A. and Christofides, T. (2007), Item Count Technique in Estimating the Proportion of People with a Sensitive Feature, *Journal of Statistical Planning and Inference*, **137**, 589-593.
- [5] Coutts, E. and Jann, B. (2011), Sensitive Questions in Online Surveys: Experimental Results for the Randomized Response Technique (RRT) and the Unmatched Count Technique (UCT), *Sociological Methods & Research*, **40**, 169-193.
- [6] Eichhorn, B. H. and Hayer, L. S. (1983), Scrambled Randomized Response Methods for Obtaining Sensitive Quantitative Data, *Journal of the American Statistical Association*, **66**, 243-250.
- [7] Gjestvang, C. R., and Singh, S. (2006), A New Randomized Response Model, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Statistical Methodology)*, **68**, 523-530.
- [8] Greenberg, B. G., Abul-Ela, A. L. A., Simmons, W. R. and Horvitz, D. G. (1969), The Unrelated Question Randomized Response Model: Theoretical framework, *Journal of the American Statistical Association*, **64**, 520-539.
- [9] Gupta, S., Mehta, S., Shabbir, J. and Dass, B. K. (2013), Generalized Scrambling in Quantitative Optional Randomized Response Models, *Communications in Statistics-Theory and Methods*, **42**, 4034-4042.
- [10] Guerriero M., Sandri M.F. (2007), A Note on the Comparison of Some Randomized Response Procedures, *Journal of Statistical Planning and Inference*, **137**, 2184-2190.
- [11] Hussain, Z., Ali Shah, E. and Shabir, J. (2012), An Alternative Item Count Technique in Sensitive Surveys, *Revista Colombiana de Estadística*, **35**, 39-54.

- [12] Imai, K. (2011), Multivariate Regression Analysis for the Item Count Technique, *Journal of the American Statistical Association*, **106**, 407-416.
- [13] Kim, J. M. and Warde, W. D. (2004), A Stratified Warner's Randomized Response Model, *Journal of Statistical Planning and Inference*, **120**, 155-165.
- [14] Lanke, J. (1976), On the Degree of Protection in Randomized Interviews, *International Statistical Review*, **44**, 197-203.
- [15] Leysieffer, F. W. and Warner, S. L. (1976), Respondent Jeopardy and Optimal Designs in Randomized Response models, *Journal of the American Statistical Association*, **71**, 649-656.
- [16] Mangat, N. S. (1994), An Improved Randomized Response Strategy, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Statistical Methodology)*, **56**, 93-95.
- [17] Mangat, N. S. and Singh, R. (1990), An Alternative Randomized Response Procedure, *Biometrika*, **77**, 439-442.
- [18] Mehta, S., Dass, B. K., Shabbir, J. and Gupta, S. N. (2012), A Three-Stage Optional Randomized Response model, *Journal of Statistical Theory and Practice*, **6**, 417-427.
- [19] Miller, J. D. (1984), A New Survey Technique for Studying Deviant Behavior, *University Microfilms*, 1984 - 1989 .
- [20] Smith, L. L., Federer, W. T., and Raghavarao, D. (1975). A Comparison of Three Techniques for Eliciting Truthful Answers to Sensitive Questions, *Proceedings of the Social Statistics Section, American Statistical Association*, 447-452.

- [21] Tian, G. L., Tang, M. L., Wu, Q. and Liu, Y. (2015), Poisson and Negative Binomial Item Count Techniques for Surveys with Sensitive Questions, *Statistical Methods in Medical Research*, in press.
- [22] Tsuchiya, T., Hirai, Y. and Ono, S. (2007), A Study of the Properties of the Item Count Technique, *Public Opinion Quarterly*, **71**, 253–272.
- [23] Warner, S. L. (1965), Randomized Response: a Survey Technique for Eliminating Evasive Answer Bias, *Journal of the American Statistical Association*, **60**, 63-69.

مقاله پذیرفته شده

Randomized Item Count Model and Its Application with Randomized Simons Model

Alavi, S. M. R., Nayyeri, S., Akhoond, M. R.

Department of Statistics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz , Iran.

Abstract: In many sample surveys, the variables of interest, such as student cheating in a university are sensitive in nature. In such situations, the interviewees respond to direct questions untruthful, or refuse to answer. The various indirect methods such as randomized response technique and item count technique are introduced to collect sensitive information. In this paper a new item count is proposed, then its randomized version called randomized item count model is introduced. Using this model an unbiased estimator for the sensitive proportion of the population is obtained. The variance of the estimator and an estimate for its variance are obtained. A criterion for comparing efficiency and privacy is introduced simultaneously. Using simulation, the proposed model is evaluated and its efficiency and privacy are compared with the Simons' technique. Based on this criterion, it is shown that the proposed method is better than the Simons method. The proportion of student cheating in the Shahid Chamran University of Ahvaz is estimated using the proposed model.

Keywords: Randomized Response, Item Count Technique, Sensitive Variable, Proportion of Student Cheating, Randomized Item Count.

Mathematics Subject Classification (2010): 62D05.