



# The Evaluation of Quality Parameters of Platelet Apheresis Products Obtained from the Fresenius COM.TEC Device during Storage

Elahe Ashouri Kafshgar<sup>1</sup>, Azita Chegini<sup>1</sup> , Shahram Samiee<sup>1</sup> , Maryam Zadsar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Blood Transfusion Research Center, High Institute for Research and Education in Transfusion Medicine, Tehran, Iran



Received: 2024/11/12  
Accepted: 2025/07/29

<http://dx.doi.org/10.61186/bloodj.21.4.296>

## Citation:

Ashouri kafshgar E, Chegini A, samiee Sh, Zadsar M. The Evaluation of Quality Parameters of Platelet Apheresis Products Obtained from the Fresenius COM.TEC Device during Storage. J Iran Blood Transfus. 2025; 22 (2): 150-159

**Correspondence:** Chegini A., Assistant Professor of Blood Transfusion Research Center, High Institute for Research and Education in Transfusion Medicine.  
P.O.Box: 14665-1157, Tehran, Iran.  
Tel: (+9821) 82052256  
**E-mail:** [a.chegini@tmi.ac.ir](mailto:a.chegini@tmi.ac.ir)

## ABSTRACT

### Background and Objectives

Platelets are small, nucleus-free cells vital for a variety of therapeutic interventions. Ensuring the quality of transfused platelets is critical for optimal patient outcomes. Various devices are for separating platelet products from whole blood, each with unique characteristics. This study aimed to evaluate the Fresenius COM.TEC platelet apheresis machine by analyzing changes in pH, platelet count (PLT), Lactate dehydrogenase (LDH) levels, and platelet viability (MTT assay) across storage days 1, 3, and 5.

### Materials and Methods

In this experimental study, 25 randomly selected platelet apheresis units from male donors were collected at the Tehran Blood Transfusion Center using the Fresenius COM.TEC device. The platelet products were stored at 20-24 °C in a shaker incubator. Samples were collected on storage days 1, 3, and 5 for evaluation of pH, LDH, PLT count, and platelet viability (MTT). All tests were conducted at the Blood Transfusion Research Center laboratory. Data analysis was performed using R software, and results with a p-values 0.05 were considered statistically significant.

### Results

LDH levels were highest on day 5 and showed a significant increase throughout the storage period, with statistically significant differences between storage days. A consistent pH decline was also observed over time. MTT assay results indicated an transient increase on day 3, followed by a decline on day 5, with reaching statistical significance ( $p < 0.0001$ ). In contrasts, platelet count did not exhibit any significant changes across all storage days ( $p > 0.05$ ).

### Conclusions

There was no significant change in Platelet counts in apheresis products collected via the Fresenius COM.TEC device during storage. However, the observed pH decrease and LDH increase on days 1, 3, and 5 are consistent with trends reported in similar studies. Interpretation of MTT assay outcomes should be approaches with caution due to its limitations, underscoring the need for robust control.

**Key words:** Plateletpheresis, Quality control, Blood Platelets, Platelet Transfusion



Copyright © 2025 Journal of Iranian Blood Transfusion, Published by Blood Transfusion Research Center.  
This work is licensed under a Creative Common Attribution-Non Commercial 4.0 International license.



## بررسی پارامترهای کیفی پلاکت در فرآورده پلاکت فرزیس حاصل از دستگاه Fresenius COM.TEC در طی روزهای ذخیره سازی

الهه آشوری کفشگر<sup>۱</sup>، آریتا چگینی<sup>۲</sup> ID، شهرام سمیعی<sup>۳</sup> ID، مریم زادسر<sup>۴</sup> ID

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هماتولوژی و بانک خون - مرکز تحقیقات انتقال خون - مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون - تهران - ایران
- ۲- متخصص بیهوشی - استادیار مرکز تحقیقات انتقال خون - مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون - تهران - ایران
- ۳- کارشناس ارشد بیوشیمی - مربی مرکز تحقیقات انتقال خون - مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون - تهران - ایران
- ۴- متخصص بیماری های عفونی - دانشیار مرکز تحقیقات انتقال خون - مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون - تهران - ایران

### چکیده

#### سابقه و هدف

پلاکت ها سلول های کوچک و بدون هسته ای هستند که برای انواع مداخلات درمانی حیاتی می باشند. اطمینان از کیفیت پلاکت های تزریق شده برای دستیابی به نتایج مطلوب برای بیمار بسیار مهم است. دستگاه های مختلفی برای جداسازی محصولات پلاکتی از خون کامل وجود دارند که هر کدام ویژگی های منحصر به فردی دارند. این مطالعه با هدف ارزیابی دستگاه آفرزیس پلاکت Fresenius COM.TEC با تجزیه و تحلیل تغییرات pH، تعداد پلاکت، سطح لاکتات دهیدروژناز و زنده ماندن پلاکت (MTT) در روزهای نگهداری ۱، ۳ و ۵ انجام شد.

#### مواد و روش ها

در این مطالعه تجربی، ۲۵ واحد آفرزیس پلاکت به صورت تصادفی از اهداکنندگان مرد در مرکز انتقال خون تهران با استفاده از دستگاه Fresenius COM.TEC جمع آوری شد. فرآورده های پلاکتی در دمای ۲۰-۲۴ درجه سانتی گراد در شیکر انکوباتور نگهداری شدند. نمونه ها در روزهای نگهداری ۱، ۳ و ۵ برای ارزیابی pH، LDH، تعداد و زنده ماندن پلاکت جمع آوری شدند. تمام آزمایش ها در آزمایشگاه مرکز تحقیقات انتقال خون انجام شد. تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار R انجام شد و مقادیر  $p < 0.05$  از نظر آماری معنادار در نظر گرفته شدند.

#### یافته ها

سطح LDH در روز ۵ به بالاترین حد خود رسید و در طول دوره نگهداری افزایش معناداری نشان داد و تفاوت آماری معناداری بین روزهای نگهداری وجود داشت. کاهش مداوم pH نیز در طول زمان مشاهده شد. نتایج سنجش MTT افزایشی گذرا در روز ۳ و به دنبال آن کاهش در روز ۵ را نشان داد که از نظر آماری معنادار بود ( $p < 0.0001$ ). در مقابل، تعداد پلاکت ها هیچ تغییر معناداری را در تمام روزهای نگهداری نشان نداد.

#### نتیجه گیری

هیچ تغییر قابل توجهی در تعداد پلاکت ها در فرآورده های آفرزیس جمع آوری شده از طریق دستگاه Fresenius COM.TEC در طول مدت نگهداری مشاهده نشد. با این حال، کاهش pH و افزایش LDH در روزهای ۱، ۳ و ۵ مشاهده شد که با روندهای گزارش شده در مطالعه های مشابه مطابقت دارد. تفسیر نتایج سنجش MTT به دلیل محدودیت های آن باید با احتیاط انجام شود و بر لزوم کنترل های دقیق تأکید می گردد.

**کلمات کلیدی:** پلاکت فرزیس، کنترل کیفی، پلاکت های خون، انتقال پلاکت



تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۷

<http://dx.doi.org/10.61186/bloodj.21.4.296>

### Citation:

Ashouri kafshgar E, Chegini A, samiee Sh, Zadsar M. The Evaluation of Quality Parameters of Platelet Apheresis Products Obtained from the Fresenius COM.TEC Device during Storage. J Iran Blood Transfuse. 2025; 22 (2): 150-159

### نویسنده مسئول:

دکتر آریتا چگینی. استادیار مرکز تحقیقات انتقال خون - مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی

طب انتقال خون - تهران - ایران

صندوق پستی: ۱۴۶۶۵-۱۱۵۷

E-mail: a.chegini@tmi.ac.ir

### کد اخلاق:

IR.TMI.REC.1402.009

## مقدمه

پلاکت‌ها سلول‌های کوچک بدون هسته‌ای هستند که قطری حدود ۵-۲ میکرون دارند و از سلول‌های بزرگی تحت عنوان مگاکاربوسیت‌ها در مغز استخوان منشأ می‌گیرند (۱). این سلول‌ها در حالت استراحت به دلیل شبکه‌هایی از رشته‌های اکتین و میکروتوبول‌های درونشان دارای شکلی دیسکوئید می‌باشند. تعداد طبیعی پلاکت‌ها در خون حدود ۱۵۰ تا ۴۰۰ هزار در هر میکرولیتر است (۳). پلاکت‌ها نقش مهمی در هموستاز و فعالیت‌های انعقادی دارند، به طوری که تزریق آن‌ها برای بیماران با ترمبوسیتوپنی نجات‌دهنده بوده و یکی از راه‌های افزایش پلاکت بیماران، تزریق پلاکت‌های اهدایی تهیه شده با روش‌های مختلف می‌باشد (۴، ۱). فرآورده‌های پلاکتی با سه روش متفاوت PRP (Platelets rich plasma)، Buffy coat و Apheresis تهیه می‌شوند (۴). روش آفرزیس را می‌توان روشی ایمن برای تولید مؤثرتر پلاکت به دلیل تماس بیماران با اهداکنندگان کمتر در نظر گرفت (۵). اساس جداسازی پلاکت در روش آفرزیس ورود خون اهداکننده به دستگاه آفرزیس و جداسازی پلاکت و بازگشت باقی اجزای خون به بدن اهدا کننده است. این دستگاه‌ها با سیستم فیلتراسیون یا سانتریفیوژ یا ترکیبی از این دو قادر به جداسازی اجزای خون هستند (۶). Haemonetics MCS و Trima Accel و COBE Spectra و Fresenius و ... دستگاه‌های جداسازی پلاکت به روش سانتریفیوژ می‌باشند (۷، ۸). مطالعه‌های اخیر به بررسی دستگاه‌های مختلف از نظر ارزیابی هر چه دقیق‌تر عملکرد دستگاه‌ها و کیفیت فرآورده حاصل از آن‌ها همانند تعداد پلاکت‌ها و تغییرات LDH، Glucose، pH، میزان فعال شدن پلاکت‌ها و هم‌چنین میکروپارتیکل‌های پلاکتی پرداخته‌اند (۹).

یکی از دستگاه‌های تهیه پلاکت آفرزیس، Fresenius COM.TEC است. این دستگاه بر اساس سانتریفیوژ جریان متناوب (IFC) به جداسازی پلاکت از سایر اجزای خونی می‌پردازد، در این روش خون پس از تکمیل فرآیند جداسازی به بدن اهداکننده باز می‌گردد. خون در فرآیند جداسازی با استفاده از پمپ‌های مختلف نظیر پمپ خون، پمپ ضد انعقاد، پمپ ورید و پمپ جمع‌آوری در ست دستگاه به جریان می‌افتد. پس از سانتریفیوژ، پلاکت‌ها جدا شده و در نهایت فرآورده پلاکتی حاصل در کیسه پلاکت

جمع‌آوری می‌گردد و سایر سلول‌ها به همراه پلاسما به بدن اهداکننده بازگردانده می‌شود. لذا در این مطالعه به بررسی تعداد پلاکت‌ها، MTT، LDH و pH در پلاکت‌های تهیه شده توسط دستگاه Fresenius COM.TEC در طول مدت ذخیره‌سازی پلاکت‌ها پرداخته شد.

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه تجربی، از واحدهای پلاکت آفرزیس حاصل از دستگاه Fresenius COM.TEC که در اداره کل انتقال خون استان تهران در بخش اهدا تهیه شده بود، استفاده گردید. از اهداکنندگان داوطلب، رضایت‌نامه آگاهانه جهت استفاده از محصول نهایی پلاکت آفرزیس در کار تحقیقاتی گرفته شد. معیار ورود اهداکنندگان به این مطالعه، افراد کاملاً سالم با هموگلوبین بیش از ۱۲/۵ گرم در دسی‌لیتر، وزن اهداکننده بیش از ۵۰ کیلوگرم، هماتوکریست بیش از ۳۸٪، آزمایش‌های منفی HIV، HBsAg، HCV و RPR، گذشت حداقل ۳ ماه پس از اهدای خون کامل و حداقل ۳ روز پس از آخرین اهدای پلاکت و دسترسی کافی به وریدهای اهداکننده با رعایت دستورالعمل‌های سازمان انتقال خون ایران بودند.

معیارهای خروج شامل مصرف داروهای ضد التهاب غیر استروئیدی (NSAIDs) مانند آسپرین، ایبوپروفن، ناپروکسن، دیکلوفناک و غیره و ابتلا به بیماری زمینه‌ای بودند. نمونه‌گیری از فرآورده پلاکتی حاصل از دستگاه Fresenius COM.TEC (Fresenius HemoCare GmbH) (آلمان) صورت گرفت.

پارامترهای تنظیم شده در دستگاه Fresenius COM.TEC شامل: جریان خون کامل ۷۵-۵۰ میلی‌لیتر در دقیقه، نقطه تنظیم رابط ۳۳ و ضد انعقاد خون به کل خون ۱:۹ بود. اطلاعات زیر شامل وزن اهداکننده، جنس، قد، سطح هموگلوبین و میزان پلاکت قبل از آفرزیس به دستگاه داده می‌شد. میزان برداشت هدف پلاکت (Target PLT yield) به میزان (۱۰<sup>۱۱</sup>×۳-۵) تعیین شد.

در هر آفرزیس، دو کیسه فرآورده پلاکت آفرزیس تهیه می‌گردید که یک کیسه با حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر جهت تزریق به بیمار به بیمارستان ارسال می‌شد. کیسه دیگر برای بررسی و انجام آزمایش‌های مطالعه، با حجم حدود ۵۰ میلی‌لیتر تهیه گردید. همه کیسه‌های دریافت شده با حجم

در این روش، ابتدا حدود  $10^7 \times 100$  سلول در ۱۰۰ میکرولیتر پلاکت آماده شد و به چاهک‌های پلیت منتقل گردید و سپس ۱۰ میکرولیتر از محلول فرمازون (Sigma-Aldrich, USA) به هر چاهک اضافه شد و به مدت ۴ ساعت در انکوباتور  $CO_2$  انکوبه گردید. پس از طی مدت انکوباسیون، معرف DMSO (دی متیل سولفوکسید) (مرک، آلمان) را به مقدار ۱۰۰ میکرولیتر به نمونه‌ها اضافه کرده و سپس ۱۰ دقیقه در انکوباتور  $CO_2$  انکوبه شد. بعد از طی مدت زمان انکوباسیون، نمونه‌ها در طول موج ۵۷۰ نانومتر توسط الیزا ریدر (کارخانجات تولیدی نورهان فجر Elisa reader multiskan-thermo fisher scientific، آمریکا) خوانده شد.

#### آزمون آماری:

به منظور محاسبه حجم نمونه در این طرح از نرم‌افزار G\*power استفاده شد. در این نرم‌افزار با در نظر گرفتن آزمون repeated measure تحت فرض سطح معناداری ۰/۰۵ و توان ۸۰ درصد و یک اندازه اثر ( $f=0.17$ )، حداقل حجم نمونه برابر ۲۵ محاسبه گردید. با توجه به توزیع طبیعی، داده‌های حاصل از آزمایش‌ها در نرم‌افزار R وارد و میانگین و انحراف معیار و p-value با مدل Linear regression در روزهای مختلف ذخیره‌سازی (۱، ۳، ۵) محاسبه گردید. p-value کمتر از ۰/۰۵ معنادار در نظر گرفته شد.

#### یافته‌ها

۲۵ فرآورده پلاکت حاصل از دستگاه Fresenius COM.TEC در روزهای ذخیره‌سازی (۱، ۳، ۵) بررسی گردید. پلاکت‌های آفرزید از نظر ظاهری و swirling در روزهای ذخیره‌سازی اول و سوم امتیاز ۲ و ۳ را گرفتند. میانگین نتایج شمارش پلاکت در روز ۱ ذخیره‌سازی فرآورده‌های پلاکت آفرزید حاصل از دستگاه Fresenius، COM.TEC  $151/920 \times 10^3/\mu L$  و در روز ۳ ذخیره‌سازی  $159 \times 10^3/\mu L$  و هم‌چنین در روز پنجم  $153/640 \times 10^3/\mu L$  بود. تفاوت معناداری از روز اول تا پنجم در تعداد پلاکت مشاهده نشد. تغییرات pH در روز ۱ ذخیره‌سازی ۷/۶۳ و در روز ۳، ۷/۳۰ و در روز ۵، ۶/۸۹ دیده شد ( $p < 0.0001$ ) (نمودار ۱) (جدول ۱).

میانگین زنده‌مانی پلاکت‌ها با آزمایش MTT در روز ۱ ذخیره‌سازی ۱/۴۰، در روز ۳، ۱/۵۱ و در روز ۵، ۱/۰۵ بود

حدود ۵۰ میلی‌لیتر جهت انجام آزمایش‌ها به مرکز تحقیقات انتقال خون منتقل شد. به هرکدام از کیسه‌های آفرزید تهیه شده ابتدا لیل خاصی چسبانیده و سپس در شیکر انکوباتور در آزمایشگاه مرکز تحقیقات سازمان انتقال خون با دمای مشخص  $22 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد با حرکت دورانی ملایم ۶۰ rpm نگهداری شدند و در روزهای ۱، ۳، ۵ کیسه‌های پلاکت آفرزید از نظر ظاهری و swirling مورد بررسی قرار گرفتند. Swirling (یا چرخش) با بررسی کیسه‌های حاوی پلاکت در برابر نور ارزیابی و به صورت زیر امتیازدهی شد:

امتیاز ۰: همگن کدر است و با فشار تغییر نمی‌کند.

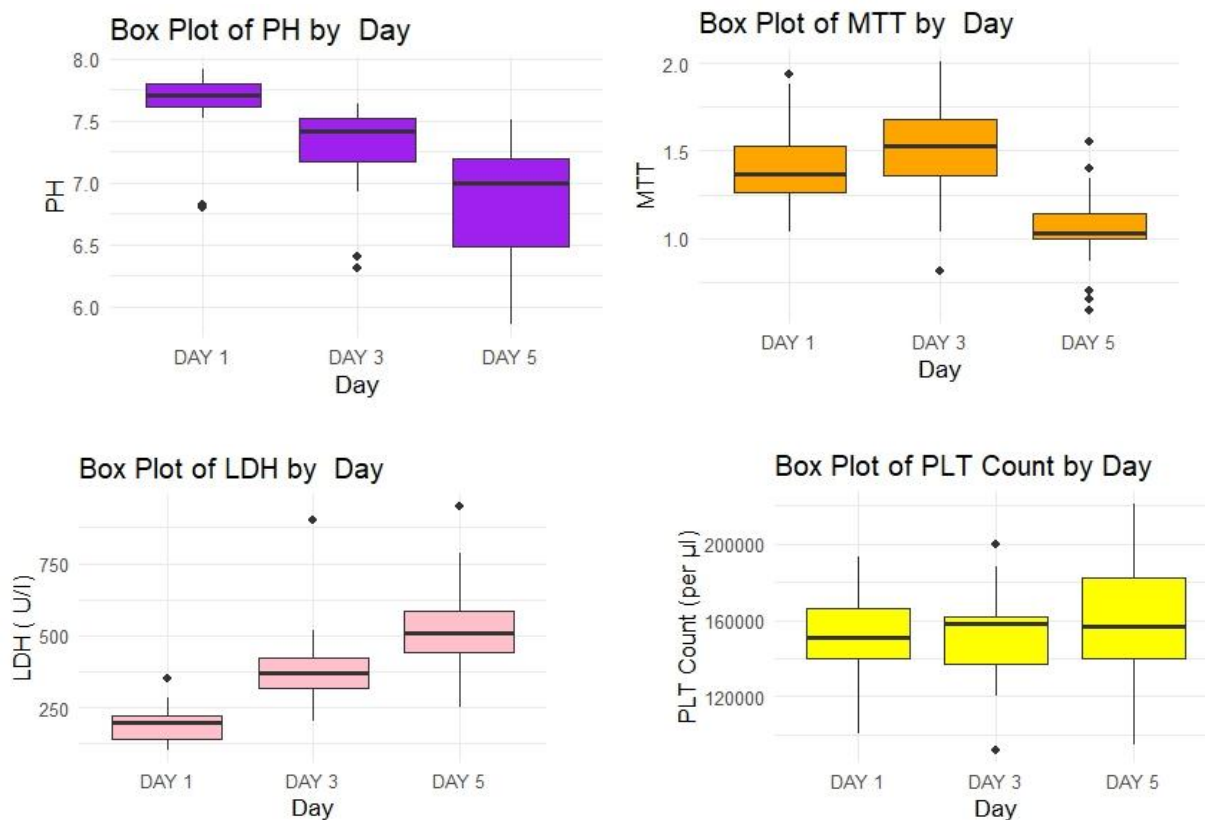
امتیاز ۱: همگن فقط در قسمتی از کیسه می‌چرخد و شفاف نیست.

امتیاز ۲: چرخش همگن واضح در تمام قسمت‌های کیسه. امتیاز ۳: چرخش همگن بسیار واضح در تمام قسمت‌های کیسه (۱۰). پس از تایید سلامت و طبیعی بودن رنگ و swirling برای انجام آزمایش‌های مورد نظر در روزهای ۱، ۳، ۵ ذخیره‌سازی، حدود ۱۰ میلی‌لیتر از فرآورده از طریق کورد کیسه، به لوله فالكون استریل منتقل شد. فرآورده‌های منتقل شده به فالكون جهت بررسی از نظر شمارش پلاکت، نمونه‌ها با PBS به نسبت ۱ به ۵ رقیق شده و سپس، به دستگاه سل کانتر SYSMEX KX1000 داده شد تا از نظر تعداد پلاکت شمارش شوند. سپس الکترودهای دستگاه pH متر (Herisau، pH lab ۸۲۷ Metrohm سوئیس) با استفاده از آب دیونیزه شسته و با گاز استریل آب‌گیری شد و در نهایت در محلول pH خنثی (۷) (pH=) کالیبره گردید و بعد از اطمینان از صحت دستگاه و خوانش درست، pH نمونه‌ها با دستگاه pH متر در هر سه روز ذخیره‌سازی اندازه‌گیری شد. برای بررسی و تشخیص آسیب سلولی و تعیین میزان آن، آزمایش لاکتات دهیدروژناز (LDH) برای کیسه‌ها انجام شد. ۵۰۰ میکرولیتر از نمونه پلاکتی از فالكون استریل به میکروتیوب منتقل و سپس با دور ۴۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. در هر سه روز ۱، ۳ و ۵، فعالیت آنزیم LDH با استفاده از کیت شرکت دلتا درمان پارس بر اساس واکنش تبدیل لاکتات به پیرووات که توسط آنزیم LDH کاتالیز می‌شود، توسط دستگاه کوپاس ECL COBAS E411 اندازه‌گیری گردید. برای بررسی زنده‌مانی سلول‌ها، از روش (MTT) 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl-2H-tetrazolium bromide استفاده شد.

LDH میزان  $517/92 \text{ Unit/L}$  به دست آمد ( $p < 0/0001$ ).

LDH نیز در روز ۱،

$194/2 \text{ Unit/L}$ ، در روز ۳،  $378/12 \text{ Unit/L}$  و در روز ۵،



نمودار ۱: میانگین نتایج حاصل از آزمایش‌های pH, LDH, MTT و شمارش پلاکت در روزهای ذخیره‌سازی (۱، ۳ و ۵) در فرآورده‌های پلاکتی آفرزیس

جدول ۱: میانگین و انحراف معیار و p-value نتایج آزمایش‌های حاصل از شمارش پلاکت و اندازه‌گیری LDH, pH و MTT در روزهای ۱، ۳، ۵ ذخیره‌سازی بر روی فرآورده پلاکت آفرزیس از دستگاه Fresenius COM.TEC (\*p-value معنادار است)

| p value      | روز پنجم                               | روز سوم                                    | روز اول                                     |                                       |
|--------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|
| $* < 0/0001$ | $159 \times 10^3 \pm 27/9 \times 10^3$ | $153/640 \times 10^3 \pm 23/5 \times 10^3$ | $151/920 \times 10^3 \pm 203/7 \times 10^3$ | PLT<br>(Mean $\pm$ SD)/ $\mu\text{L}$ |
| $* < 0/0001$ | $1/0528 \pm 0/2183369$                 | $1/5156 \pm 0/3011932$                     | $1/4004 \pm 0/2397652$                      | MTT (Mean $\pm$ SD)                   |
| $* < 0/0001$ | $517/92 \pm 121/4156$                  | $378/12 \pm 134/7554$                      | $194/2 \pm 59/3689$                         | LDH<br>(Mean $\pm$ SD)/U/I            |
| $* < 0/0001$ | $6/8952 \pm 0/4698769$                 | $7/3004 \pm 0/336817$                      | $7/6536 \pm 0/4698769$                      | PH (Mean $\pm$ SD)                    |
| $* < 0/0001$ | +                                      | ++                                         | +++                                         | Swirling                              |

## بحث

در این مطالعه پلاکت‌های آفریز حاصل از دستگاه Fresenius COM.TEC از نظر ظاهری و swirling در روزهای ذخیره‌سازی امتیاز ۲ و ۳ و سپس ۱ را گرفتند. در شمارش PLt این فرآورده‌های پلاکت فریز تفاوت معناداری در روزهای ۱، ۳ و ۵ ذخیره‌سازی مشاهده نشد، اما نتایج آزمایش‌های pH، LDH و MTT در روزهای ذخیره‌سازی معنادار بود ( $p < 0/0001$ ).

Swirling و ارزیابی چرخش یک روش ساده و غیر تهاجمی برای بررسی پلاکت‌ها است که به صورت بصری انجام می‌شود و برای کنترل کیفی معمول هر پلاکت و در مقیاس بزرگ مفید است. بررسی بصری swirling با مورفولوژی پلاکت مرتبط است؛ وجود آن نشان‌دهنده مورفولوژی دیسکوئید و عدم وجود آن نشان‌دهنده مورفولوژی کروی پلاکت‌ها است (۱۰). سینگ و همکاران نمره ۳ swirling را در ۷۹/۷٪، ۸۳/۹٪ و ۹۰٪ از واحدهای پلاکت مشاهده کردند، در حالی که امتیاز ۲ به ترتیب به ۲۰/۳٪، ۱۶/۱٪ و ۱۰٪ از واحدهای BC-PC، PRP-PC و apheresisPC داده شد. آن‌ها در هیچ واحدی امتیاز یک را در روز اول تهیه مشاهده نکردند (۱۰). برتولینی و همکاران در مطالعه خود گزارش کردند که پلاکت‌های تازه در ۸۳٪ از واحدها swirling مثبت و تنها در ۲٪ منفی بوده و بقیه swirling متوسط داشتند. پس از ۵ روز نگهداری، میزان swirling پلاکت‌های مثبت ۶۵٪ کاهش یافت و برتولینی نتیجه گرفت که این کاهش می‌تواند به دلیل آسیب‌هایی باشد که در طول نگهداری پلاکت‌ها رخ می‌دهند (۱۱). در مطالعه ما واحدهای پلاکت در روز اول امتیاز ۳ داشتند که در روز پنجم امتیاز هیچ‌کدام به ۰ نرسید.

فعالیت متابولیک فرآورده‌های پلاکت فریز عمدتاً با pH،  $pCO_2$ ،  $pO_2$ ، بی‌کربنات، گلوکز و لاکتات بررسی می‌شود. متابولیسم پلاکت‌ها در خارج از بدن و حین نگهداری در دمای  $22 \pm 2^\circ C$  تغییر می‌کند و سبب تغییراتی در pH می‌شود (۱۲). اگر pH به کمتر از ۶/۸ نرسد، حجم پلاکت در طول سه روز تقریباً ۱۰٪ کاهش می‌یابد. در میزان pH کمتر از ۶/۸ تورم سلول‌ها شروع می‌شود و در pH=۶/۰ به حداکثر خود می‌رسد. اگر pH از این سطح پایین‌تر بیاید، افزایش تدریجی حجم پلاکت و کاهش چگالی دیده می‌شود که نشان‌دهنده تورم به دلیل ورود مایع خارج سلولی است. در pH=۶/۰، حجم پلاکت تقریباً دو برابر شده و سرعت تبدیل دیسک به کره افزایش می‌یابد.

به طوری که اگر pH به ۵/۷ تا ۵/۹ برسد، فقط کره‌های متورم دیده می‌شوند. اگر pH بالاتر از ۶/۱ بماند، این تغییرات تقریباً به طور کامل برگشت‌پذیر هستند، اما اگر pH به زیر ۶/۱ برسد، قابل برگشت نیستند. گلبول‌های سفید خون در محیط کشت PC اثر مخربی دارند و منجر به کاهش قابل توجه pH، افزایش مصرف گلوکز، تولید اسید لاکتیک و آزادسازی LDH در طول نگهداری می‌شوند. pH در طول ذخیره‌سازی بسته به محلول‌های موجود در کیسه‌های پلاستیکی نگهداری پلاکت و شرایط ذخیره‌سازی کاهش می‌یابد. افزایش گلیکولیز پلاکت منجر به کاهش pH به سطوح نزدیک به ۶/۰ در پلاکت‌های ذخیره شده در پلاسما می‌شود و با از دست دادن قابل توجه قابلیت حیات پلاکت‌ها همراه است (۱۰). در مطالعه ما تغییرات میانگین pH در روز ۱ ذخیره‌سازی ۷/۶۳ و در روز ۳، ۷/۳۰ و در روز ۵، ۶/۸۹ دیده شد که به کمتر از ۶/۸ نرسید ( $p < 0/0001$ ).

آزمایش دیگری که بر روی فرآورده‌های پلاکت انجام شد LDH بود که افزایش آن را در روزهای نگهداری (۱، ۳، ۵) مشاهده کردیم. پروچازکوا و همکاران بر روی دو دستگاه Trima و MCS مطالعه‌ای انجام دادند. آن‌ها نیز افزایش LDH را در طی روزهای ذخیره‌سازی (۱، ۳، ۵) در هر دو دستگاه مشاهده نمودند که با میزان pH رابطه عکس داشت. آن‌ها افزایش LDH را در روز ۵ در فرآورده حاصل از دستگاه MCS به طور معناداری بیشتر گزارش کردند. سرکوب چرخه کربس در میتوکندری و انباشت اسید کربنیک در سیتوپلاسم حاصل از چرخه گلیکولیز سبب کاهش pH می‌شود و افزایش LDH هم می‌تواند به دلیل ادامه روند گلیکولیز در سیتوپلاسم سلول‌های پلاکت باشد (۱۳). ما نیز کاهش میزان pH و افزایش میانگین LDH در روزهای نگهداری پلاکت را مشاهده کردیم ( $p < 0/0001$ ).

ماچر و همکاران در سال ۲۰۱۰ به بررسی فرآورده‌های حاصل از دستگاه‌ها Amicus و Trima پرداختند، آن‌ها نیز افزایش LDH و کاهش pH در روزهای ذخیره‌سازی را همانند مطالعه ما و تحقیق پروچازکوا گزارش نمودند و این موضوع را متأثر از جنس کیسه و تبادل مناسب اکسیژن دانستند (۱۴). بر اساس نتایج حاصل از مطالعه اکسیا و همکاران، از دست دادن میزان زنده ماندن سلول‌ها (cellular viability) با افزایش LDH و لاکتات در کیسه، کاهش pH و طیف وسیعی از پدیده‌های متابولیکی دیگر مرتبط است. این تغییرات همراه با تغییرات مورفولوژیکی در پلاکت‌ها

رخ می‌دهد که پارامترهای متابولیکی را بدتر می‌کند (۱۵). برای معکوس کردن این تغییرات از کیسه‌هایی که امکان تبادل بهتر و مؤثرتر گاز در هنگام ذخیره‌سازی در دمای ۲۲ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد را فراهم می‌کنند و از ضد انعقاد های بهتر برای کاهش میزان فعال شدن پلاکت در خارج از بدن استفاده کرده‌اند (۱۵). اکسیا و همکاران برای بررسی فعالیت متابولیک سلول‌ها از آزمایش‌های LDH و MTT با روش اسپکتروفتومتریک استفاده کردند. آن‌ها فعالیت متابولیکی پنج جفت پلاکت را با استفاده از روش MTT در فواصل زمانی مختلف سنجیدند و به یکی از آن‌ها PEG-rHuMGDF برای بررسی تأثیر TPO بر زنده‌مانی پلاکت‌ها اضافه کردند. پلاکت‌ها فعالیت متابولیکی طبیعی خود را برای ۶ روز اول ذخیره‌سازی حفظ کردند و سپس در طول مدت ذخیره‌سازی بعدی، کاهش تدریجی و خطی در فعالیت متابولیکی داشتند. با این حال، در هیچ زمانی هیچ تأثیری از وجود PEG-rHuMGDF مشاهده نشد. تغییرات MTS و MTT در کیسه‌های پلاکت در طول ذخیره‌سازی به موازات تغییرات pH و LDH بود (۱۵). در مطالعه ما نیز آزمایش MTT در روز ۵ نسبت به روز ۱ کاهش داشت. این کاهش در نتایج حاصل از MTT می‌تواند نشانه‌ای از مرگ بیشتر پلاکت‌ها در روز ۵ ذخیره‌سازی نسبت به روز اول باشد. ولی در روز سوم افزایش در میزان آزمایش دیده شد که می‌بایستی عوامل مخدوش‌کننده این آزمایش را در نظر گرفت. علی‌رغم کاربردهای گسترده این آزمایش در طی چهار دهه گذشته، روش MTT اغلب بدون توجه به مکانیسم‌های اساسی و محدودیت‌ها آن، تفسیر و استفاده می‌شود. مکانیسم بنیادی آزمایش MTT،  $[3-(4,5)-\text{dimethylthiazol-2-yl}-2\text{-nitrobenzyl}]$ ، دی‌متیل تیازول-۲-یل-۵،۲-دی فنیل-H<sub>2</sub>-تترازولیوم بروماید یک نمک مونو تترازولیوم است که از یک هسته حلقه تترازول چهارتایی با بار مثبت حاوی چهار اتم نیتروژن احاطه شده توسط سه حلقه آروماتیک شامل دو بخش فنیل و یک حلقه تیازولیل تشکیل شده است. احیای MTT منجر به اختلال در حلقه تترازول مرکزی و تشکیل یک مولکول نامحلول در آب به رنگ آبی-بنفش به نام فورمازان می‌شود. معرف MTT می‌تواند از غشای سلولی و هم‌چنین غشای داخلی میتوکندری سلول‌های زنده (احتمالاً به دلیل بار مثبت آن و هم‌چنین ساختار لیپوفیلی آن) عبور کند و توسط سلول‌های فعال متابولیکی به فورمازان احیا شود. این

سنجش به عنوان یک سنجش فعالیت متابولیک سلولی کاربرد گسترده‌ای دارد. با این حال، کاربرد آن به طور فزاینده‌ای برای استنباط فرآیندهای ثانویه یا حالت‌های سلول‌ها، مانند زنده‌مانی، که اغلب بی‌اساس است، به کار گرفته شده است. محل تشکیل فورمازان و انتقال درون سلولی آن هم‌چنان بحث‌برانگیز است. مطالعه‌های بیوشیمیایی و میکروسکوپی، فورمازان را در اندامک‌های مختلف درون سلولی (در شبکه آندوپلاسمی، قطرات لیپیدی سیتوزولی، غشاهای پلاسما، هسته و میکروزوم‌ها) پیدا کرده‌اند. مطالعه‌های متعدد محدودیت‌های سنجش MTT و عوامل مخدوش‌کننده مختلفی را آشکار کرده‌اند. برخی از متغیرهای مخدوش‌کننده‌ای که معمولاً نادیده گرفته می‌شوند شامل تعداد سلول‌های کشت‌شده، غلظت معرف، MTT اضافه شده به سلول‌ها، زمان انکوباسیون سلول‌ها با MTT، نوع محیط کشت، حذف مایع رویی سلول‌ها پس از انکوباسیون MTT و طول موجی که در آن چگالی نوری اندازه‌گیری می‌شود، هستند. افزایش تعداد سلول‌ها، سطح کل فورمازان تولید شده توسط جمعیت سلولی و در نتیجه OD اندازه‌گیری شده را افزایش می‌دهد. برای ارزیابی زنده‌ماندن سلول‌ها، باید آزمایش‌های کنترلی دقیقی به عنوان وسیله‌ای برای تعیین چگونگی تأثیر پارامترهای ذکر شده بر رابطه بین OD اندازه‌گیری شده و تعداد سلول‌ها انجام شود. سطح OD صرفاً یک نمایش ساده از یک پارامتر مانند زنده‌ماندن سلول، تکثیر سلولی یا فعالیت متابولیک نیست، بلکه مجموعه‌ای از عوامل بسیاری در سطح تک سلول و جمعیت سلولی و هم‌چنین سایر عوامل سلولی مانند فاز رشد سلولی و میزان جذب MTT و خروج فورمازان است که همگی می‌توانند به طور بالقوه آزمایش/محیط کشت را تحت تأثیر قرار دهد. این پیچیدگی حتی می‌تواند باعث نتایج مثبت کاذب در هنگام آزمایش با استفاده از سنجش MTT شود (۱۶). بنابراین با توجه به آن که تعداد سلول/تراکم و غلظت MTT بر میزان تشکیل فورمازان تأثیر می‌گذارد، بهینه‌سازی دقیق شرایط سنجش متناسب با رده‌های سلول‌های خاص و استفاده از کنترل‌های مناسب همانند بررسی اگرگومتری، فلوسیتومتری و نشانگرهای آپوپتوز از محدودیت‌های مطالعه ما به شمار می‌رود.

حسین و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی تغییرات

پلاکت‌ها تا روز ۵ ذخیره‌سازی نیز به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد که با دفع بالای  $\beta$ -TG، از دست دادن نوکلئوتیدهای پلاکتی، کاهش توانایی ترکیب آدنوزین ۳ فسفات و مورفولوژی ضعیف پلاکت‌ها نشان داده می‌شود (۱۹).

در مطالعه تورا و همکاران میزان pH در فرآورده‌های آفرزيس در روز ۵ نگهداری  $0/16 \pm 6/89$  گزارش شده بود و در مطالعه ما نیز pH در روز ۵،  $0/46 \pm 6/89$  به دست آمد. آن‌ها بر روی ۶۶۹ فرآورده پلاکتی آفرزيس مطالعه کردند که از این تعداد ۴۶۰ واحد آفرزيس تحت بررسی آزمایشگاهی و کنترل کیفیت قرار گرفت. نتایج حاصل از pH در مطالعه آن‌ها نشان داد که بر اساس جنس کیسه‌ها و شرایط نگهداری، میزان pH کاهش می‌یابد که این کاهش متأثر از شرایط نامناسب فیزیولوژیک در اثر افزایش ذخیره‌سازی برای پلاکت‌های تهیه شده در هر سه روش ردوم دنور، آفرزيس و بافی کوت بود (۱۹).

محدودیت‌های مطالعه حاضر، عدم بررسی تمامی موارد کنترل کیفی و بررسی روش‌های پیشرفته‌تر ارزیابی کیفیت پلاکت، آزمایش‌هایی از قبیل اندازه‌گیری فعالیت آن‌ها به وسیله بیان مارکرهای CD۶۲p و CD۶۳ با روش فلوسیتومتری واگريگومتری، بهینه‌سازی دقیق شرایط سنجش MTT بر روی فرآورده پلاکت آفرزيس حاصل از دستگاه Fresenius COM.TEC است و بهتر بود سایر موارد کنترل کیفی همانند حجم واحد آفرزيس، تعداد WBC، تعداد RBC و استریلیتی، هم بررسی و هم‌چنین مقایسه‌ای بین دستگاه‌های مختلف آفرزيس با هم انجام می‌شد.

### نتیجه‌گیری

بررسی‌های آزمایشگاهی بروی فرآورده‌های حاصل از دستگاه آفرزيس Fresenius COM.TEC در روزهای ذخیره‌سازی نشان داد که می‌توان از این دستگاه تهیه پلاکت نیز استفاده کرد. برای تفسیر نتایج MTT محدودیت‌های آن را بایستی در نظر گرفت و از کنترل‌های مناسب دیگر نیز بهره برد.

### حمایت مالی

این پروژه توسط مرکز تحقیقات انتقال خون، مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون ایران تأمین مالی شده است.

شمارش پلاکتی در روزهای ۱، ۳، ۵ و ۷ ذخیره‌سازی پرداختند. آن‌ها فرآورده‌های پلاکتی محصول دستگاه Cobe spectra را بررسی کردند. در مطالعه آن‌ها ۱۶ نفر، به تعداد ۹ مرد و ۶ زن پلاکت اهدا کردند. در مطالعه آن‌ها شمارش پلاکت در روزهای ذخیره‌سازی روند کاهشی داشت (۱۷). اما برخلاف تحقیق حسین و همکاران، نتایج حاصل از مطالعه ما تغییرات چشمگیر و معناداری در شمارش پلاکت در روزهای ذخیره‌سازی نشان نداد که می‌تواند به این دلیل باشد که آن‌ها روز ۷ را نیز در مطالعه خود گنجانیده بودند و ما تا روز ۵ میزان پلاکت‌ها را بررسی کردیم. در مطالعه تین گارد و همکاران در سال ۲۰۰۸ که به بررسی تفاوت فرآورده‌های حاصل از دو دستگاه Cobe Spectra و Trima Accel بر روی ۲۰ پلاکت آفرزيس (از هر دستگاه ۱۰ فرآورده پلاکت آفرزيس) در روزهای ۰، ۱، ۳، ۵ و ۷ پرداختند، نیز مشاهده شد. در نتایج حاصل از این مطالعه گزارش کردند که تغییرات تعداد پلاکت در هر دو دستگاه در طی روزهای ذخیره‌سازی ثابت بود ولی میانگین حجم پلاکت (MPV (mean platelet volume) در روز ۱ نسبت به روز ۰ روند کاهشی داشت، ولی در سایر روزها در این پارامتر هم تغییراتی دیده نشد. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که کیفیت پلاکت پس از ذخیره‌سازی به مدت ۷ روز به خوبی حفظ شده بود، اگر چه فعال شدن پلاکت‌ها را در طول ذخیره‌سازی، توسط آزمایش‌های  $pO_2$ ،  $pCO_2$  و pH در گازهای خون، و مارکرهای سطح پلاکت GPIb (CD42b) and P-selectin (CD62P) در فلوسیتومتری مشاهده کردند و هیچ تفاوتی در کیفیت پلاکت بین PC‌های تولید شده توسط دو دستگاه Spectra و Trima گزارش نکردند (۱۸). در مطالعه ما تفاوت معناداری در شمارش پلاکت فرآورده‌های پلاکت فرزيس حاصل از دستگاه Fresenius COM.TEC در روزهای ۱، ۳ و ۵ ذخیره‌سازی مشاهده نشد. اگر چه تین گارد و همکاران متغیرهای مختلف متابولیک همانند میزان قند، لاکتات، گازهای خونی، میزان Soluble P-selectin در پلاسما، مارکرهای سطح پلاکت، Clotting، hypotonic shock response و time and coagulum G (HSR) را نیز بررسی کردند.

گلبول‌های سفید خون در فرآورده پلاکت اثر مخربی بر محیط ذخیره‌سازی دارند و منجر به کاهش قابل توجه pH، افزایش مصرف گلوکز، تولید اسید لاکتیک و آزادسازی LDH در طول ذخیره‌سازی می‌شوند. در نتیجه، در فرآورده پلاکتی که غلظت بالایی از لکوسیت‌ها دارند، وضعیت

**ملاحظات اخلاقی**

مطالعه حاضر دارای کد اخلاق IR.TMI.REC.1402.009 از کمیته اخلاق مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون تهران، ایران است.

**عدم تعارض منافع**

نویسندگان اظهار می‌کنند هیچ‌گونه تعارض منفعی در این مطالعه وجود نداشته است.

**نقش نویسندگان**

اله آشوری کفشگر: انجام مراحل عملی، تجزیه و تحلیل و تفسیر نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله  
دکتر آریتا چگینی: مدیریت و طراحی مطالعه، تفسیر نتایج و بازبینی، تهیه و اصلاح پیش‌نویس مقاله

شهرام سمیعی: طراحی مطالعه، انجام مراحل عملی و تهیه پیش‌نویس مطالعه  
دکتر مریم زادسر: تجزیه و تحلیل، تفسیر نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله

**تشکر و قدردانی**

این مقاله نتیجه پایان‌نامه دانشجویی کارشناسی ارشد رشته زیست فناوری پزشکی مرکز تحقیقات مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون می‌باشد. تهیه فرآورده از پایگاه انتقال خون تهران و مراحل پروژه در آزمایشگاه مرکز تحقیقات انجام گردید. بدین وسیله از پرسنل زحمتکش اداره کل انتقال خون تهران و مرکز تحقیقات تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

**References:**

- 1- Rinder HM, Tomer A. Platelet production, kinetics, and hemostasis. In: Simon TL, Snyder EL, Solheim BG, Stowell CH, Strauss RG, Petrides M. Rossi's Principles of Transfusion Medicine. 4th ed. USA: Blackwell Publishing; 2009. p. 149-67.
- 2- Rinder HM, Tomer A. Platelet production, kinetics, and hemostasis. Rossi's Principles of Transfusion Medicine. 2009 Jan 9;149-67.
- 3- Ribatti D, Crivellato E. Giulio Bizzozzero and the discovery of platelets. Leuk Res 2007; 31(10): 1339-41.
- 4- Javadzadeh Shahshahani H, Akhavan Tafti F, Amini Kafi-abad S. An overview of three methods used to prepare the platelet components from whole blood and apheresis method. Sci J Iran Blood Transfus Organ 2023; 20(3): 236-54. [Article in Farsi]
- 5- Hillyer CD, Silberstein LE, Ness PM, Anderson KC, Roback JD. Blood Banking and Transfusion Medicine: Basic Principle and Practice. 2nd ed. USA: Churchill Livingstone; 2007. p.735-6.
- 6- McLeod BC, Weinstein R, Winters JL, Szczepiorkowski ZM. Apheresis: Principles and Practice. 3rd ed. USA: AABB; 2010. p. 2-23.
- 7- Smith J, Burgstaler E. Blood component collection by apheresis. In: Roback JD, Combs MR, Grossman BJ, Hillyer ChD. Technical Manual. 17th ed. USA: AABB; 2008. p. 227-38.
- 8- Chegini A, Mirrezaie M, Poorreza M, Rezaie A, Anbardan A. Assessment of plateletpheresis donation in Tehran Blood Center. Sci J Iran Blood Transfus Organ 2013; 10(2): 140-6. [Article in Farsi]
- 9- Sadeghi Neysiyani S, Amini-Kafiabad S. The effect of different types of plateletpheresis devices on the quality parameters of the produced platelet units. Sci J Iran Blood Transfus Organ 2024; 21(2): 169-84. [Article in Farsi]
- 10- Singh RP, Marwaha N, Malhotra P, Dash S. Quality assessment of platelet concentrates prepared by platelet rich plasma-platelet concentrate, buffy coat poor-platelet concentrate (BC-PC) and apheresis-PC methods. Asian J Transfus Sci 2009; 3(2): 86-94
- 11- Bertolini F, Rebulli P, Riccardi D, Cortellaro M, Ranzi ML, Sirchia G. Evaluation of platelet concentrates prepared from buffy coats and stored in a glucose-free crysallloid medium. Transfusion 1989; 29(7): 605-9.
- 12- Sadeghi Neysiyani S, Amini Kafi-Abad S. The effect of different types of plateletpheresis devices on the quality parameters of the produced platelet units. Sci J Iran Blood Transfus Organ 2024; 21(2): 169-84. [Article in Farsi]
- 13- Procházková R, Andrys C, Hubáčková L, Krejsek J. Markers of platelet activation and apoptosis in platelet concentrates collected by apheresis. Transfus Apher Sci 2007; 37(2): 115-23.
- 14- Macher S, Sipurzynski-Budrass S, Roskopf K, Rohde E, Griesbacher A, Groselj-Strele A, et al. Function and activation state of platelets in vitro depend on apheresis modality. Vox Sang 2010; 99(4): 332-40.
- 15- Xia Y, Li J, Bertino A, Kuter D. Thrombopoietin and the TPO receptor during platelet storage. Transfusion 2000; 40(8): 976-87.
- 16- Ghasemi M, Turnbull T, Sebastian S, Kempson I. The MTT assay: utility, limitations, pitfalls, and interpretation in bulk and single-cell analysis. Int J Mol Sci 2021; 22(23): 12827.
- 17- Hussein E. Clinical and quality evaluation of apheresis vs random-donor platelet concentrates stored for 7 days. Transfus Med 2015; 25(1): 20-6.

- 18- Tynngård N, Lindahl TL, Trinks M, Studer M, Berlin G. The quality of platelet concentrates produced by COBE Spectra and Trima Accel cell separators during storage for 7 days as assessed by in vitro methods. *Transfusion* 2008; 48(4): 715-22.
- 19- Toora E, Kulkarni RG, Manivannan P, Sastry AS, Basavarajegowda A, Sahoo D. Quality assessment of platelet concentrates prepared by platelet-rich plasma, buffy-coat, and apheresis methods in a tertiary care hospital in South India: A cross-sectional study. *Asian J Transfus Sci* 2023; 17(2): 239-45.