



Imam Khomeini International University  
Vol. 8, No. 1, Spring 2023



نشریه مهندسی منابع معدنی  
Journal of Mineral Resources Engineering  
(JMRE)

## Technical Note

# Investigation of the Recovery of Gold from Cell Phone Scraps by L-Valine Amino Acid

Tahmasebi Naderi Chegini Z.<sup>1</sup>, Alizadeh Ganji S.M.S.<sup>2\*</sup>, Hayati M.<sup>2</sup>

1- M.Sc Student, Dept. of Mining, Lorestan University, khorramabad, Iran

2- Assistant Professor, Dept. of Mining, Lorestan University, khorramabad, Iran

Received: 01 Jan. 2022

Accepted: 16 Apr. 2022

**Abstract:** The printed circuit boards of mobile phones contain precious metals such as gold, platinum, and palladium, with 542, 30, and 26 ppm, respectively, and among the available base metals, copper constitutes the highest weight percentage (30.675%). Therefore, the recycling of this waste is very important not only from an environmental point of view but also from an economic point of view. The leaching operation, was performed, on the original sample printed circuit boards of mobile phones and cakes obtained from leaching with sulfuric acid by the amino acid L-valine and the effect of parameters such as L-valine concentration, temperature, pH, time, the oxidizing amount, the pulp density on the gold recovery was investigated and compared. The results showed that the parameters of temperature, leaching time, pH, relative to pulp density, L-valine concentration, and the amount of oxidant are more important in gold recovery, respectively. Recovery of gold leaching with L-valine amino acid under optimal conditions of L-valine concentration of 200 g/t, temperature 80 °C, pulp density 10%, oxidizing amount of 50 ml/l, pH 11.5, and leaching time 32 hours on the original sample and the cake obtained from leaching with sulfuric acid were 62.23% and 87.34%, respectively. In other words, by acid leaching with sulfuric acid before leaching with amino acid L-valine, the recovery of gold leaching by L-valine increases by about 25.11%.

**Keywords:** Gold leaching, PCB waste, Copper leaching, L-Valine amino acid.

### How to cite this article

Tahmasebi Naderi Chegini, Z., Alizadeh Ganji, S. M. S., and Hayati, M. (2022). "Investigation of the recovery of gold from cell phone scraps by L-valine amino acid". Journal of Mineral Resources Engineering, 8(1): 131-146.

DOI: [10.30479/JMRE.2022.16745.1569](https://doi.org/10.30479/JMRE.2022.16745.1569)

\*Corresponding Author Email: [Ganji.m@lu.ac.ir](mailto:Ganji.m@lu.ac.ir)

COPYRIGHTS

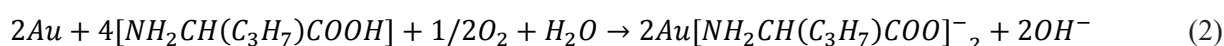
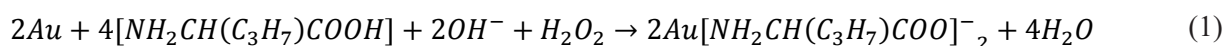


©2023 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## INTRODUCTION

Technological advances in electrical and electronic equipment and the diversity of people in the use of new equipment have made the issue of electronic-waste (e-waste) a major global problem [1]. The process of recycling e-waste usually includes the stages of separation, shredding, and processing, and in the processing stage, one of the physical or mechanical processes, hydrometallurgy, pyrometallurgy, bio hydrometallurgy is performed [2]. Recent research has shown that the use of amino acids in combination with hydrogen peroxide (as an oxidizer) to leach gold from gold ores and e-waste as an environmentally friendly method reduces the consumption of the leaching agent and increases metal recovery. It is valuable and has no environmental problems related to sodium cyanide (due to toxicity and hydrogen cyanide gas production). The mechanism of gold leaching by the amino acid L-valine using hydrogen peroxide and air oxidizers has been shown in reactions 1 and 2, respectively [3].



Tanda et al. investigated copper leaching from azurite, chrysocolla, cuprite, and malachite minerals using glycine, and finally, after 24 hours under optimal conditions, pH 11, the glycine to copper ratio was 4% to 1% recovery of copper leaching were obtained from azurite, malachite, cuprite and chrysocolla minerals About 95, 90, 83.8 and 17.4% respectively [4]. Praya et al. investigated the recovery of gold from computer components and a sheet of pure gold using amino acid-alkaline solutions such as glycine and monosodium glutamate. The results of experiments showed that the percentage of gold recovery is affected by the oxidant concentration and pH, which increased to 100% with the presence of Copper ions [5]. Shadi Agha Babaei investigated the effective parameters of copper leaching in printed circuit boards using sulfuric acid and hydrogen peroxide by designing experiments. Finally, under optimal conditions with a stirring speed of 300 rpm, a concentration of 4 M sulfuric acid, an acid-to-oxidizer ratio of 4, a temperature of 50 °C, a time of 4 hours and 35 minutes, and a pulp density of 5%, copper recovery was Obtained by 96% for [6]. Vahid Kiani investigated the effect of amino acids in the cyanation process of the Zarkan Agh Dareh Gold Processing Plant. The results showed that cyanide concentration of 300 g/ton, ambient temperature, pH 10.5, time of 24 hours, pulp density 40%, constant stirring speed and particle size of -53 microns, cyanide leaching recovery for gold, silver, and mercury were obtained at about 90, 55 and 19%, respectively. While the recovery percentage of gold leaching in the conditions of cyanide concentration of 300 g/ton, ambient temperature 75 °C, pH 11.5, leaching time of 24 hours, pulp density 30%, constant stirring speed and particle size of -53 microns for gold, silver, and mercury were obtained by creatine monohydrate, 91, 47.18 and zero percent, respectively, by L-valine, 90.5, 16.56 and zero percent, respectively, and by L-histidine, respectively. 90.5, 15.92, and zero percent [3]. So far, the amino acid leaching process (especially glycine) alone or in combination with cyanide and other leaching agents has been studied mainly for the recovery of metals from ores or gold and silver sheets. The use of amino acids, especially L-valine, in gold leaching from electronic equipment wastes in the world has been less studied as a gold leaching method than other leaching methods. So far no research has been done in this field in Iran and there are still unknowns about the use of these materials in the process of leaching precious metals. The purpose of this study is to investigate the effective parameters in the process of gold leaching from mobile PCB waste by the amino acid L-valine.

## MATERIALS AND METHODS

### Preparation and analysis of sieve

A combination of printed circuit boards of old and new mobile phones was prepared as a study sample. After sample preparation and separation of ceramic, plastic, and metal parts on the boards, the crushing operation was performed using a hammer mill in two stages and the homogeneous crushed sample was divided into two parts using a riffle. Standard sieves (ASTM) of 1190, 595, 354, 250, 177, 149, and 105 microns were used to study the dimensional distribution of particles. After plotting the sieve analysis diagram,  $d_{80}$  of the 684-micron reagent sample was obtained.

### **Atomic absorption studies and ICP**

The results of sample analysis by atomic absorption methods and ICP showed that the printed circuit boards of mobile phones contain a wide range of bases and precious metals. Among the precious metals, gold (542 ppm), platinum (30 ppm), and palladium (26 ppm) are among the precious metals, and among the base metals, copper constitutes 30.675% weight of the total sample. Iron and aluminum are the second and third metals in terms of weight percentage after copper, respectively, and constitute 3.5 and 1.02 wt% of the total sample, respectively.

### **Materials and equipment**

Sulfuric acid (98% purity as copper leaching agent) and L-valine amino acid (99% purity as gold leaching agent), hydrogen peroxide (30% as oxidizer), and sodium hydroxide (with 99% purity percentage as a pH regulator) were bought from the German company Merck. The HPMA700 magnetic stirrer was used to control the temperature and stir the pulp, and the pH paper of the German Merck company was used to measure the pH. The American-made atomic adsorption device (AAFS 240) available in the Central Laboratory of Lorestan University was used to analyze gold and copper soluble and waste samples from leaching.

### **Leaching tests**

Initially, direct leaching tests were performed on 10 g reagent samples. Then acidic leaching of the samples was performed with sulfuric acid and in the next step on the cake obtained from acidic leaching, a leaching operation was performed using the amino acid L-valine and the effect of effective parameters was investigated.

## **RESULTS AND ANALYSIS OF EXPERIMENTS**

### **Direct leaching tests of PCB waste by L-valine amino acid**

Initially, 30 direct leaching tests were performed on 10 g reagent samples using L-valine, and 5 tests were performed to test the effect of L-valine concentration, temperature, pulp density, oxidizing amount, pH, and time, for each one of the above parameters and finally, the recovery of gold leaching under the conditions of L-valine concentration of 200 g/ton, temperature 80 °C, pulp density 10%, oxidizing amount of 50 ml/l, pH 11.5 and time 32 hours was obtained at about 62.23 Percentage.

### **Leaching tests with sulfuric acid**

By 30.675% weight of the studied sample is composed of copper metal. The high leaching rate of base metals compared to precious metals and the high concentration of base metals increase the consumption of amino acids and have a negative effect on the gold leaching process [7]. To remove a significant portion of copper and other base metals, a leaching step with sulfuric acid and hydrogen peroxide under 4 M sulfuric acid concentration, acid to oxidizer ratio 4, temperature 50 °C, time 4.5 hours, pulp density 5% was performed before leaching with L-valine amino acid [6]. Finally, 68.4% of the copper metal in the sample was removed by sulfuric acid as a solution before leaching with amino acid.

### **L-valine amino acid leaching experiments on sulfuric acid leaching cake**

After acid leaching tests with sulfuric acid, leaching tests were performed using L-valine on the cake obtained from acid leaching and the effect of amino acid concentration, oxidant amount, temperature, pH, pulp density, and time on the recovery of case gold was investigated.

### **Effect of L-valine concentration**

5 experiments with different concentrations of 100, 200, 300, 400, and 500 g/ton under constant conditions of other parameters such as temperature (60 °C), time (28 hours), oxidizing amount (20 ml/l), pulp density (15%), pH 11, and stirrer speed (400 rpm) were performed. The results showed that initially with increasing the concentration from 100 g/t to 200 g/t, gold leaching recovery increases from 79.25% to about 81.1%, then increasing the concentration from 200 to 500 g per ton, gold leaching recovery is reduced to 76.79%.

### **Temperature effect**

5 different experiments were performed at temperatures of 40, 50, 60, 70, and 80 °C under constant

conditions of other parameters. The results showed that the recovery percentage of gold leaching at 40 °C is at its lowest level and about 63.42% and at 80 °C is at its highest level of 82.66%. According to the test results, with increasing temperature, the speed of gold leaching increases and this leads to an increase in the rate of gold leaching recovery. With increasing temperature from 40 to 80 °C, the recovery of gold leaching has increased by 19.24%.

#### **Effect of pH**

5 experiments were performed with pHs of 10, 10.5, 11, 11.5, and 12 under constant conditions of other parameters. The results showed that with increasing the pH from 10 to 11.5%, gold leaching recovery increases from 68.94% to 84.39% and from this pH upwards, the percentage of gold leaching recovery decreases to 80.21% arrives.

#### **Effect of pulp density**

5 different experiments with a pulp density of 10, 15, 20, 25, and 30% were performed under constant conditions of other parameters, respectively. The results show that the recovery of gold leaching decreases from 10 to 30% with increasing pulp density and reaches from 86.11% to 76.77%. This can be due to the reduction of oxygen transfer to the gold surface due to the increase in the pulp density, which leads to a decrease in gold leaching recovery [8].

#### **Effect of leaching time**

5 different experiments were performed at 16, 20, 24, 28, and 32 hours under the constant conditions of other parameters, respectively. The results showed that the recovery of gold leaching in 16 hours reaches 73.33% and with increasing leaching time to 32 hours, the recovery of gold leaching increases to 87.34, in fact, with increasing time for 16 hours, recovery of gold leaching increases by about 14%.

### **CONCLUSION**

The printed circuit board contained 542 ppm of gold and the gold leaching operation was performed on 10 g samples with dimensions of 684 microns. Effect of L-valine concentration parameters (100 to 500 g/t), oxidizing value (20 to 140 ml/l), temperature ((40 to 80 °C), pH (10 to 12), the pulp density (10 to 30%) and the time (16 to 32 hours) on the recovery of gold leaching were examined. Studies have shown that in gold recovery, the parameters of temperature, time, and pH, relative to the pulp density, L-valine concentration, and the amount of oxidant are more important, respectively. The recovery percentage of gold leaching by L-valine (on the cake obtained from leaching with sulfuric acid) under the conditions of L-valine concentration of 200 g/ton, Temperature 80 °C, pulp density 10%, oxidizing value 50 ml/l, pH 11.5 and leaching time of 32 hours was about 87.34%. L-Valine was performed and the recovery percentage of gold leaching was about 62.23 %. The results showed that by performing acid leaching before leaching by L-Valine, the recovery percentage of gold leaching was about 25.11% increases.

### **REFERENCES**

- [1] Arshadi, M., and Mousavi, S. M. (2014). "Simultaneous recovery of Ni and Cu from computer-printed circuit boards using bioleaching: Statistical evaluation and optimization". *Bioresource Technology*, 174: 233-242.
- [2] Akcil, A., Erust, C., ekha. Gahan, C. S., Ozgun, M., Sahin, M., and Tuncuk, A. (2015). "Precious metal recovery from waste printed circuit boards using cyanide and non-cyanide lixivants--A review". *Waste Management*, 45: 258-271.
- [3] Kiani, V. (1993). "Investigating the Synergistic Effect of Amino Acids on the Cyanation Process of Zarkan Agh Dareh Dynamic Gold Processing Plant". Master Thesis in Mining Engineering, Lorestan University, pp. 93. (In Persian).
- [4] Tanda, J., and Oraby, E. A. (2017). "An investigation into the leaching behaviour of copper oxide minerals in aqueous alkaline glycine solutions". *Hydrometallurgy*, 167: 153-162.
- [5] Perea, C. G., and Restrepo, O. J. (2018). "Use of amino acids for gold dissolution". *Hydrometallurgy*, 177(February): 79-85.
- [6] Aghababaei, Sh. (2017). "Investigation of effective parameters on copper leaching from printed circuit board tailings by experimental design method". Master Thesis in Mining Engineering, Lorestan University, pp.74. (In Persian).

- [7] Broeksma, C. P. (2018). "*Evaluating the applicability of an alkaline amino acid leaching process for base and precious metal leaching from printed circuit board waste*". Master Thesis Extractive Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Stellenbosch University, pp. 140.
- [8] Jinxiu Huang, Q. S. K., Mengjun, Ch., Haiyan, Ch., and Shu, Ch. (2014). "*Leaching behavior of copper from waste printed circuit boards with Brønsted acidic ionic liquid*". Waste Management, 34: 483-488.



## یادداشت فنی

# بررسی بازیافت طلا از قراضه‌های گوشی تلفن همراه با آمینو اسید ال - والین

زهرا طهماسبی نادری چگینی<sup>۱</sup>، سید محمد سیدعلیزاده گنجی<sup>۲</sup>، محمد حیاتی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشگاه لرستان، خرم آباد

۲- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه لرستان، خرم آباد

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱

### چکیده

زباله‌های الکترونیکی از طیف متنوعی از فلزات و قطعات غیرفلزی ساخته شده است. نتایج آنالیز تخته مدارهای چاپی تلفن‌های همراه نشان داد عبار فلزات با ارزش مانند طلا، پلاتین و پالادیم، به ترتیب ۵۴۲، ۳۰ و ۲۶ پی‌پی‌ام است و از بین فلزات پایه موجود مس بیشترین درصد وزنی (۳۰/۶۷۵ درصد) را تشکیل می‌دهد، بنابراین بازیافت این زباله‌ها نه تنها از جنبه‌های محیط زیستی بلکه از لحاظ اقتصادی بسیار حایز اهمیت است. به همین دلیل برای مقایسه نتایج بر روی نمونه‌های اولیه تخته مدارهای چاپی تلفن‌های همراه و یک به دست آمده از لیچینگ با اسید سولفوریک عملیات لیچینگ به وسیله آمینواسید ال - والین انجام گرفت و تاثیر پارامترهایی مانند غلظت ال - والین، دما، pH، زمان، مقدار اکسیدکننده، درصد جامد پالپ بر بازیابی لیچینگ طلا بررسی شد. نتایج نشان داد که پارامترهای دما، زمان لیچینگ، pH، نسبت به درصد جامد پالپ، غلظت ال - والین و مقدار اکسیدکننده به ترتیب اهمیت بیشتری در بازیابی طلا دارند. درصد بازیابی لیچینگ طلا با آمینواسید ال - والین تحت شرایط بهینه غلظت ال - والین ۲۰۰ گرم بر تن، دما ۸۰ درجه سانتی‌گراد، درصد جامد پالپ ۱۰ درصد، مقدار اکسیدکننده ۵۰ میلی‌لیتر بر لیتر، pH ۱۱/۵ و زمان لیچینگ ۳۲ ساعت بر روی نمونه اولیه و یک به دست آمده از لیچینگ با اسید سولفوریک به ترتیب ۶۲/۲۳ درصد و ۸۷/۳۴ درصد به دست آمد. به عبارتی با انجام لیچینگ اسیدی با اسید سولفوریک قبل از لیچینگ با آمینواسید ال - والین درصد بازیابی لیچینگ طلا به وسیله ال - والین حدود ۲۵/۱۱ درصد افزایش می‌یابد.

### کلمات کلیدی

لیچینگ طلا، زباله‌های تخته مدار چاپی، لیچینگ مس، آمینواسید ال - والین.

### استناد به این مقاله

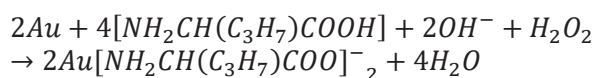
طهماسبی نادری چگینی، ز.، سیدعلیزاده گنجی، س. م.، حیاتی، م.؛ ۱۴۰۲؛ "بررسی بازیافت طلا از قراضه‌های گوشی تلفن همراه با آمینو اسید ال - والین". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره هشتم، شماره ۱، ص ۱۴۶-۱۳۱.

DOI: 10.30479/JMRE.2022.16745.1569

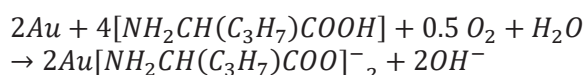


۱- مقدمه

(۱)



(۲)



ونتر<sup>۱</sup> و همکاران، تاثیر هم‌افزایی آمینواسیدهای هیستیدین، گلايسين، آلانين و والين را در لیچینگ تیوسولفاتى طلاى کنسانتره پیریت بررسی کردند و دریافتند هم‌افزایی آمینواسیدها موجب کاهش مصرف تیوسولفات می‌شود. همچنین سینتیک پایین استخراج طلا به وسیله تیوسولفات، تا حد زیادی با افزودن آمینواسیدها افزایش می‌یابد. تحقیقات نشان داد که هیستیدین نسبت به سایر آمینواسیدها، بیشترین تاثیر را در افزایش بازیابی طلا و کاهش مصرف تیوسولفات دارد [۴]. آتا آکسیل<sup>۲</sup> و همکاران تاثیر هم‌افزایی تیوسولفات، مس دو ظرفیتی و آمونیاک را در لیچینگ زباله‌های الکترونیکی برای بازیابی طلا بررسی کردند و در نهایت بازیابی لیچینگ طلاى زباله‌های الکترونیکی تحت شرایط بهینه غلظت تیوسولفات ۷۲/۷۱ میلی‌مولار، غلظت یون مس دو ظرفیتی ۱۰ میلی‌مولار و غلظت آمونیاک ۰/۲۶۶ مولار در pH ۱۰، دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد حدود ۹۰ درصد به دست آمد [۲]. اکستین<sup>۳</sup> و اورابی<sup>۴</sup> لیچینگ طلاى موجود در کانی‌های سولفیدی با استفاده از آمینواسیدها در غلظت‌های پایین را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد میزان بازیابی طلا با افزایش دما از ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد و افزایش غلظت آمینواسید، پراکسید هیدروژن و pH به میزان چشم‌گیری افزایش می‌یابد. وجود یون کوپریک میزان لیچینگ طلا را در گلايسين افزایش داد و در حضور پیریت، به علت مصرف پراکسید هیدروژن در اکسیداسیون سولفید میزان بازیابی طلا کاهش یافت [۵]. لیو<sup>۵</sup> و همکاران فرآیند بیولیچینگ طلاى موجود در زباله‌های تخته مدار چاپی را با استفاده از باکتری کروموباكتريم ویولاسيم<sup>۶</sup> به عنوان یک باکتری بی‌هوازی، مزوفیل و گرم منفی بررسی کردند. در این پژوهش مروری بر مکانیزم تولید سیانید به وسیله این باکتری و شرایط بهینه لیچینگ انجام شد. همچنین بررسی شد که ترکیب باکتری یاد شده با مواد شیمیایی مانند ید و میکروارگانيسم‌هایی مانند باکتری‌های پَسودوموناس آرتروژینو<sup>۷</sup> و پَسودوموناس فلورسکنس<sup>۸</sup> موجب تقویت تولید سیانید و افزایش بازیابی لیچینگ طلا به بیش

در دنیای به سرعت در حال توسعه امروزی، به دلیل پیشرفت تکنولوژیکی در تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، میزان تقاضا برای استفاده از این محصولات به سرعت رو به رشد است. عمر کوتاه تجهیزات و وسایل الکترونیکی و تنوع طلبی مردم در استفاده از تجهیزات جدید، مساله زباله‌های الکترونیکی را به یک مشکل بزرگ جهانی تبدیل کرده است. زباله‌های الکترونیکی از طیف متنوعی از مواد ساخته شده‌اند که شامل مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین سمی مانند سرب و کادمیم، فلزات پایه مانند مس و آهن، فلزات گرانبها مانند طلا و نقره و قطعات غیرفلزی متشکل از رزین، سرامیک، پلاستیک و شیشه‌اند. از فلزات گرانبها مانند طلا، پلاتین و پالادیم، به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی از قبیل شکل‌پذیری، هدایت الکتریکی خوب و مقاومت در برابر خوردگی، در ساخت کالاهای متنوع، از قبیل محصولات برقی و الکترونیکی، کاتالیزور شیمیایی، داروسازی و جواهرات استفاده می‌شود [۱]. فرآیند بازیافت زباله‌های الکترونیکی معمولاً شامل مراحل جداسازی، خردایش و فرآوری است و در مرحله فرآوری، یکی از فرآیندهای فیزیکی یا مکانیکی، هیدرومتالورژی، پیرومتالورژی، بیوهیدرومتالورژی انجام می‌شود. در روش هیدرومتالورژی، سیانوراسیون یکی از معمول‌ترین روش‌هایی است که در انحلال طلا استفاده می‌شود. امروزه چندین فرآیند لیچینگ غیرسیانیدی مانند تیوسولفات، تیوسیانات، تیواوره، هالید، تیزاب سلطانی و آمینواسیدها توسعه یافته است که ممکن است برای انحلال فلزات با ارزش استفاده شود [۲]. تحقیقات اخیر نشان داده است که استفاده از آمینواسیدها به همراه پراکسید هیدروژن (به عنوان اکسیدکننده) برای لیچینگ طلا از کانسنگ طلا و زباله‌های الکترونیکی به عنوان یک روش سازگار با محیط زیست، موجب کاهش مصرف عامل لیچینگ و افزایش بازیابی فلزات با ارزش می‌شود و مشکلات محیط زیستی مربوط به سیانید سدیم را به دلیل سمیت و تولید گاز سیانید هیدروژن ندارد. آمینواسیدهایی مانند ال-هیستیدین، ال-آلانین، ال-والین و گلايسين به صورت صنعتی تهیه و در فرآیند استحصال طلا بررسی می‌شوند [۳]. مکانیزم لیچینگ طلا به وسیله آمینواسید ال-والین با استفاده از اکسیدکننده‌های پراکسید هیدروژن و هوا به ترتیب در واکنش‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است [۳]:

پارامترهایی مانند غلظت اسیدسولفوریک، نسبت اسید به اکسیدکننده، دما، زمان و درصد جامد در انحلال مس بررسی شد و درصد بازیابی لیچینگ مس تحت شرایط بهینه با دور همزنی ۳۰۰ دور در دقیقه، غلظت اسید سولفوریک ۴ مولار، نسبت اسید به اکسیدکننده ۴، دما ۵۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۴ ساعت و ۳۵ دقیقه و درصد جامد ۵ درصد به میزان ۹۶ درصد به دست آمد [۱۱]. وحید کیانی، تاثیر هم‌افزایی آمینواسیدها در فرآیند سیانوراسیون کارخانه فرآوری طلای پویا زرکان آق دره را مورد بررسی قرار داد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که استفاده از آمینواسیدها به صورت هم‌افزایی با سیانور در نسبت‌های مختلف، موجب افزایش بازیابی لیچینگ طلا و کاهش مصرف سیانور می‌شود. همچنین در شرایط غلظت سیانید ۳۰۰ گرم بر تن، دمای محیط، pH ۱۰٫۵، زمان ۲۴ ساعت، درصد جامد ۴۰ درصد، دور همزن ثابت و اندازه ذرات ۵۳- میکرون، درصد بازیابی لیچینگ سیانیدی برای طلا، نقره و جیوه به ترتیب حدود ۹۰، ۵۵ و ۱۹ درصد به دست آمد. در حالی که درصد بازیابی لیچینگ طلا در شرایط غلظت سیانید ۳۰۰ گرم بر تن، دمای محیط ۷۵ درجه سانتی‌گراد، pH ۱۱٫۵، زمان لیچینگ ۲۴ ساعت، درصد جامد ۳۰ درصد، دور همزن ثابت و اندازه ذرات ۵۳- میکرون برای طلا، نقره و جیوه به وسیله ۱۰۰ گرم بر تن کراتین مونوهیدرات به ترتیب، ۹۱، ۴۷٫۱۸ و صفر درصد، به وسیله ۱۰۰ گرم بر تن ال-والین به ترتیب ۹۰٫۵، ۱۶٫۵۶ و صفر درصد و به وسیله ۱۰۰ گرم بر تن ال-هیستیدین به ترتیب ۹۰٫۵، ۱۵٫۹۲ و صفر درصد به دست آمد [۳]. تونکوک<sup>۱۵</sup> و همکاران لیچینگ دو مرحله‌ای زباله‌های رم‌های حافظه برای استخراج انتخابی فلزات با ارزش را مورد بررسی قرار دادند. لیچینگ مرحله اول به وسیله ید با غلظت ۲ درصد و پراکسید هیدروژن، نسبت جامد به مایع ۵ درصد و در زمان ۲ ساعت انجام شد و درصد بازیابی لیچینگ برای طلا و نقره به ترتیب ۸۱٫۸۱ و ۹۹٫۰۲ درصد به دست آمد. همچنین حدود ۷۹٫۳ درصد از نقره در لیچینگ مرحله دوم به وسیله اسید سولفوریک ۲ مولار، ۱٫۵ میلی‌گرم تیوسولفات آمونیم، نسبت جامد به مایع ۵ درصد و در طی مدت ۵ ساعت لیچینگ شد. در نهایت تحت لیچینگ دو مرحله‌ای میزان درصد بازیابی لیچینگ مس، طلا و نقره به ترتیب ۷۳٫۹۸، ۹۹٫۹۸ و ۹۰٫۹۶ درصد به دست آمد [۱۲]. گنگ ژو<sup>۱۶</sup> و همکاران بازیابی طلا از ضایعات تخته‌مدار چاپی تلفن همراه را به روش بیولیچینگ مورد بررسی قرار دادند و در نهایت با استفاده از باکتری‌های تولیدکننده سیانید با نام‌های پ سودوموناس پوتیدا

از ۷۰ درصد می‌شود [۶]. تاندا<sup>۹</sup> و همکاران لیچینگ مس از کانی‌های آزوریت<sup>۱۰</sup>، کریزوکولا<sup>۱۱</sup>، کوپریت و مالاکیت<sup>۱۲</sup> را با استفاده از گلايسين بررسی کردند و در کمتر از ۶ ساعت با نسبت گلايسين به مس ۸ به ۱، لیچینگ کامل مس از آزوریت انجام گرفت. در نهایت پس از ۲۴ ساعت تحت شرایط بهینه pH ۱۱، نسبت گلايسين به مس ۴ به ۱ درصد بازیابی لیچینگ مس از کانی‌های آزوریت، مالاکیت، کوپریت و کریزوکولا به ترتیب حدود ۹۵، ۹۰، ۸۳٫۸ و ۱۷٫۴ درصد به دست آمد [۷]. زهرا رئیسی بازیابی طلا از تخته‌مدار چاپی رایانه مستعمل با استفاده از روش استخراج حلالی را مورد بررسی قرار داد. در ابتدا لیچینگ طلا و سایر فلزهای موجود در این پسماندها به وسیله تیزاب سلطانی انجام گرفت، سپس محلول حاصل از لیچینگ، با استفاده از فرآیند استخراج حلالی با استخراج‌کننده تری اکتیل بازیابی شد. در شرایط بهینه مقدار ۹۹٫۶ درصد از طلای محلول و ۲۳٫۴ درصد از یون مس موجود در نمونه اولیه به فاز آلی انتقال یافت [۸]. کارا فیلیپا<sup>۱۳</sup> لیچینگ آمینواسیدی فلزات پایه و گرانبها را از زباله‌های تخته مدار چاپی با استفاده از گلايسين مورد بررسی قرار داد. در ابتدا لیچینگ مس و سایر فلزات پایه با استفاده از گلايسين بررسی شد. نتایج نشان داد افزایش دما و غلظت گلايسين در حضور هوا، باعث افزایش سرعت انحلال مس می‌شود، سپس آزمایش‌های لیچینگ فلزات گرانبها با استفاده از کیک برجا مانده از آزمایش‌های لیچینگ فلزات پایه انجام شد. برای دستیابی ۷۸ درصد بازیابی مس، دو مرحله لیچینگ با مدت زمان ۴۱ الی ۵۲ ساعت انجام شد. در نهایت بازیابی لیچینگ طلا تحت شرایط غلظت سیانید سدیم ۰٫۰۴ مولار، گلايسين ۰٫۱۳ مولار در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۹۶ ساعت با اکسیدکننده هوا، حدود ۳۸ درصد به دست آمد [۹]. پرایا<sup>۱۴</sup> و همکاران، بازیابی طلا از قطعات رایانه و یک ورق از طلای خالص با استفاده از محلول‌های قلیایی آمینواسیدی مانند گلايسين و مونوسدیم گلوتمات را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که درصد بازیابی طلا تحت تاثیر غلظت اکسیدکننده و pH قرار دارد که با وجود یون‌های  $\text{Cu}^{2+}$  به ۱۰۰ درصد افزایش یافت. همچنین، مشاهده شد که سینتیک استخراج نسبت به تغییر دما بسیار حساس است [۱۰]. شادی آقا بابایی، پارامترهای موثر در لیچینگ مس موجود در تخته مدارهای چاپی با استفاده از اسیدسولفوریک و پراکسید هیدروژن به روش طراحی آزمایش‌ها را مورد بررسی قرار داد. پس از انجام طراحی آزمایش‌ها با نرم‌افزار  $\text{Dx7}$ ، تاثیر



با استفاده از آسیای چکشی (آسیای مورد استفاده برای خردایش دانه و خوراک دام و طیور) خردایش اولیه و به وسیله آسیای چکشی پین میل، عملیات خردایش ثانویه انجام شد. نمونه خرد شده همگن و با استفاده از ریفل به دو قسمت تقسیم شد. نصف نمونه اولیه بایگانی و نصف دیگر به وزن یک کیلوگرم برای تعیین توزیع ابعاد دانه‌بندی به روش خشک به وسیله سرندهای استاندارد (ASTM)<sup>۱۷</sup> به ترتیب ۱۶- ۳۰- ۴۵- ۶۰- ۸۰- ۱۰۰- ۱۴۰ مش معادل ۱۱۹۰- ۵۹۵- ۳۵۴- ۲۵۰- ۱۷۷- ۱۴۹- ۱۰۵ میکرون تجزیه سرندي شد. پس از رسم نمودار تجزیه سرندي مطابق شکل ۱، نمونه معرف ۶۸۴ میکرون به دست آمد.

## ۲-۲- مطالعات جذب اتمی و ICP

نتایج آنالیزهای نمونه معرف تخته‌مدار چاپی تلفن‌های همراه به روش‌های جذب اتمی و ICP، در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. تخته‌مدارهای چاپی تلفن همراه حاوی فلزات باارزشی مانند طلا (۵۴۲ پی‌پی‌ام)، پلاتین (۳۰ پی‌پی‌ام) و پالادیم (۲۶ پی‌پی‌ام) است و از فلزات پایه مس ۳۰/۶۷۵ درصد وزنی از کل نمونه را تشکیل می‌دهد. آهن و آلومینیم بعد از مس به ترتیب دومین و سومین فلز از نظر درصد وزنی‌اند و به ترتیب ۳/۵ و ۱/۰۲ درصد وزنی از کل نمونه را تشکیل می‌دهند.

## ۲-۳- مواد و تجهیزات

از مواد شیمیایی مانند اسید سولفوریک (با درصد خلوص ۹۸ درصد به عنوان عامل لیچینگ مس) و آمینواسید آل-والین با (درصد خلوص ۹۹ درصد به عنوان عامل لیچینگ

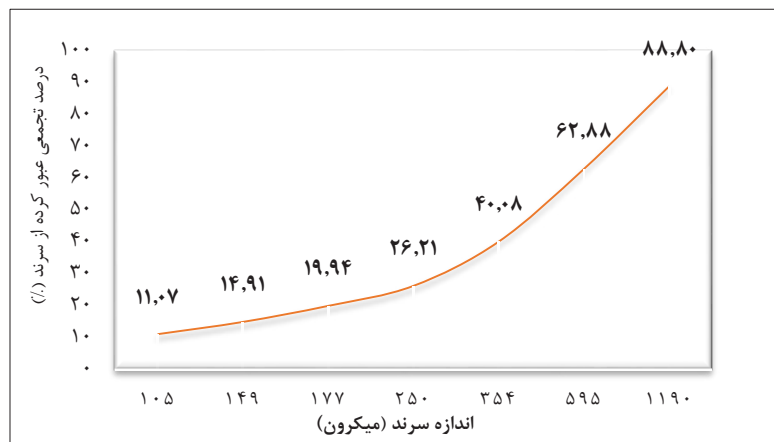
و باسیلوس مگاتریوم تحت شرایط بهینه pH ۱۰، چگالی پالپ ۵ گرم بر لیتر و زمان لیچینگ ۳۴ ساعت، نسبت غنی‌سازی و درصد بازیابی لیچینگ طلا به ترتیب ۴۳/۶۲ و ۸۷/۴۶ درصد به دست آمد [۱۳].

تاکنون فرآیند لیچینگ آمینواسیدی (به ویژه گلايسين) به تنهایی و یا به صورت هم‌افزایی با سیانید و سایر عامل‌های لیچینگ، عمدتاً برای بازیابی فلزات از سنگ معدن و یا ورقه‌های طلا و نقره مطالعه شده است. به طوری که استفاده از آمینواسیدها به ویژه آل-والین در لیچینگ طلا از زباله‌های تجهیزات الکترونیکی در جهان، به عنوان یک روش لیچینگ طلا نسبت به سایر روش‌های لیچینگ کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است و در ایران تاکنون تحقیقی در این زمینه انجام نگرفته است و هنوز ناشناخته‌هایی در مورد استفاده از این مواد در فرآیند لیچینگ فلزات باارزش وجود دارد. هدف از این تحقیق بررسی پارامترهای تاثیرگذار در فرآیند لیچینگ طلا از زباله‌های تخته مدار چاپی تلفن همراه به وسیله آمینواسید آل-والین است.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- آماده‌سازی و تجزیه سرندي

ترکیبی از تخته‌مدارهای چاپی تلفن‌های همراه قدیمی و جدید به عنوان نمونه مورد مطالعه تهیه شد و برای آماده‌سازی نمونه، عملیات جداسازی قطعات سرامیکی، پلاستیکی و فلزی روی تخته‌مدارها به روش دستی انجام گرفت. بخش‌های پلاستیکی و سرامیکی دور ریخته شد و بخش فلزی جدا شده همراه با تخته‌مدارها تحت خردایش قرار گرفت، سپس



شکل ۱: نمودار تجزیه سرندي نمونه معرف

جدول ۱: آنالیز جذب اتمی نمونه معرف

نام عنصر	Au	Pt	Pd
عیار (پی پی ام)	۵۴۲	۳۰	۲۶

جدول ۲: آنالیز ICP نمونه معرف

نام عنصر	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr
درصد وزنی	۰٫۰۱۷	۱٫۰۲	۰٫۰۰۴	۰٫۷۲۵	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۸	۱٫۴۱۵	<۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۸	۰٫۳۲۵
نام عنصر	Cu	Fe	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Hg	
درصد وزنی	۳۰٫۶۷۵	۳٫۵۰۵	۰٫۰۲۱	<۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۱۹۱	۰٫۰۶۶	۰٫۰۰۵	۰٫۰۳۹	<۰٫۰۰۱	

و برای بررسی تاثیر غلظت ال-والین، دما، درصد جامد پالپ، مقدار اکسیدکننده، pH و زمان، تعداد ۵ آزمایش برای هر یک از پارامترهای یاد شده انجام گرفت. در نهایت درصد بازیابی لیچینگ طلا تحت شرایط غلظت ال-والین ۲۰۰ گرم بر تن، دما ۸۰ درجه سانتی‌گراد، درصد جامد پالپ ۱۰ درصد، مقدار اکسیدکننده ۵۰ میلی‌لیتر بر لیتر، pH ۱۱٫۵ و زمان ۳۲ ساعت حدود ۶۲٫۲۳ درصد به دست آمد.

### ۳-۲- آزمایش‌های لیچینگ با اسید سولفوریک

حدود ۳۰٫۶۸ درصد وزنی از نمونه مورد مطالعه، از فلز مس تشکیل شده است. سرعت بالای لیچینگ فلزات پایه نسبت به فلزات گران‌بها و غلظت بالای فلزات پایه، موجب افزایش مصرف آمینواسید و تاثیر منفی در روند لیچینگ طلا می‌شود. در محلول‌های قلیایی با وجود اکسیدکننده، ابتدا فلز مس به  $Cu_2O$  اکسید و سپس  $Cu_2O$  به  $CuO$  تبدیل می‌شود. اکسیداسیون مس با اکسیژن یا پراکسید هیدروژن به تشکیل یک محصول میانی از اکسید مس ( $CuO$ ) منجر می‌شود. سرانجام در pH قلیایی، واکنش بین  $CuO$  و آمینواسید رخ می‌دهد و به تشکیل کمپلکس‌های پایدارتر مس و در نتیجه مصرف آمینواسید منجر می‌شود [۹]. از آنجایی که طلای موجود در زباله‌های تلفن همراه به صورت آلیاژ با مس و سایر فلزات وجود دارد، برای حذف بخش قابل توجهی از مس و سایر فلزات پایه، یک مرحله لیچینگ با اسید سولفوریک و پراکسید هیدروژن تحت شرایط غلظت اسید سولفوریک ۴ مولار، نسبت اسید به اکسیدکننده ۴، دما ۵۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۴٫۵ ساعت، درصد جامد ۵ درصد، قبل از لیچینگ با آمینواسید ال-والین انجام گرفت [۱۱]. در نهایت ۶۸٫۴ درصد از فلز مس موجود در نمونه اولیه به وسیله اسید سولفوریک به صورت محلول قبل از لیچینگ

طلا، پراکسید هیدروژن (۳۰ درصد به عنوان اکسیدکننده) و هیدروکسید سدیم (با درصد خلوص ۹۹ درصد به عنوان تنظیم‌کننده pH) از شرکت مرک آلمان استفاده شد. برای کنترل دما و هم‌زدن پالپ از دستگاه همزن مغناطیسی مدل HPMA700 و برای اندازه‌گیری pH از کاغذ pH شرکت مرک آلمان استفاده شد. در نهایت از دستگاه جذب اتمی اجیلنت<sup>۱۸</sup> ساخت کشور آمریکا مدل (AAFS 240) موجود در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان برای آنالیز طلا و مس نمونه‌های محلول و باطله حاصل از لیچینگ استفاده شد.

### ۲-۴- آزمایش‌های لیچینگ

در ابتدا آزمایش‌های لیچینگ مستقیم بر روی نمونه‌های معرف ۱۰ گرمی با  $d_{80}$  ۶۸۴ میکرون به وسیله آمینواسید ال-والین انجام و میزان تاثیر پارامترهای موثر به طور جداگانه بر بازیابی لیچینگ طلا بررسی شد، سپس بر روی کیک حاصل از لیچینگ اسیدی با اسید سولفوریک، عملیات لیچینگ با استفاده از آمینواسید ال-والین برای مقایسه نتایج عملیات لیچینگ با آمینواسید انجام گرفت. پس از اتمام هر آزمایش جدایش جامد از محلول لیچینگ به وسیله کاغذ صافی تحت شرایط طبیعی انجام شد و برای محاسبات درصد بازیابی لیچینگ طلا از کیک و محلول به دست آمده نمونه‌گیری به عمل آمد و به وسیله دستگاه جذب اتمی دانشگاه لرستان مورد آنالیز قرار گرفت.

### ۳- نتایج و تحلیل آزمایش‌ها

#### ۳-۱- آزمایش‌های لیچینگ مستقیم زباله‌های تخته‌مدار چاپی به وسیله آمینواسید ال-والین

در ابتدا تعداد ۳۰ آزمایش لیچینگ مستقیم بر روی نمونه‌های معرف ۱۰ گرمی با استفاده از ال-والین انجام شد

ال- والین در محلول افزایش می‌یابد، این ترکیبات با خود واکنش داده و پیوند پپتیدی (آمیدی) تشکیل می‌دهند. در واقع تشکیل پیوند پپتیدی یکی از عوامل اصلی کاهش درصد بازیابی لیچینگ طلا با افزایش مقدار ال- والین است [۱۰]. همچنین، در pH قلیایی، افزایش غلظت ال- والین موجب افزایش میزان واکنش آمینواسید با اکسید مس و سایر فلزات پایه می‌شود و در نتیجه میزان ال- والین موثر برای انحلال و بازیابی طلا کاهش می‌یابد [۹].

### ۳-۳-۲- تاثیر مقدار اکسیدکننده

بعد از بهینه شدن غلظت آمینواسید ال- والین، گام بعدی بهینه‌سازی مقدار اکسیدکننده با انجام ۵ آزمایش مختلف با مقادیر ۲۰، ۵۰، ۸۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ (میلی‌لیتر بر لیتر) تحت شرایط ثابت دیگر پارامترها مانند غلظت ال- والین (۲۰۰ گرم بر تن)، دما (۶۰ درجه سانتی‌گراد)، زمان (۲۸ ساعت)، درصد جامد پالپ (۱۵ درصد)، pH برابر با ۱۱ و دور همزن (۴۰۰ دور بر دقیقه) انجام گرفت. نتایج در شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار اکسیدکننده از ۲۰ تا ۵۰ (میلی‌لیتر بر لیتر)، بازیابی لیچینگ طلا از ۷۵٫۶ درصد تا حدود ۸۲٫۳۲ درصد افزایش می‌یابد. در ادامه با افزایش مقدار اکسیدکننده، بازیابی لیچینگ طلا کاهش یافته و در مقدار ۱۴۰ (میلی‌لیتر بر لیتر) به ۷۹٫۸۵ درصد می‌رسد، بنابراین با در نظر گرفتن حداکثر درصد بازیابی لیچینگ طلا (۸۲٫۳۲ درصد) مقدار

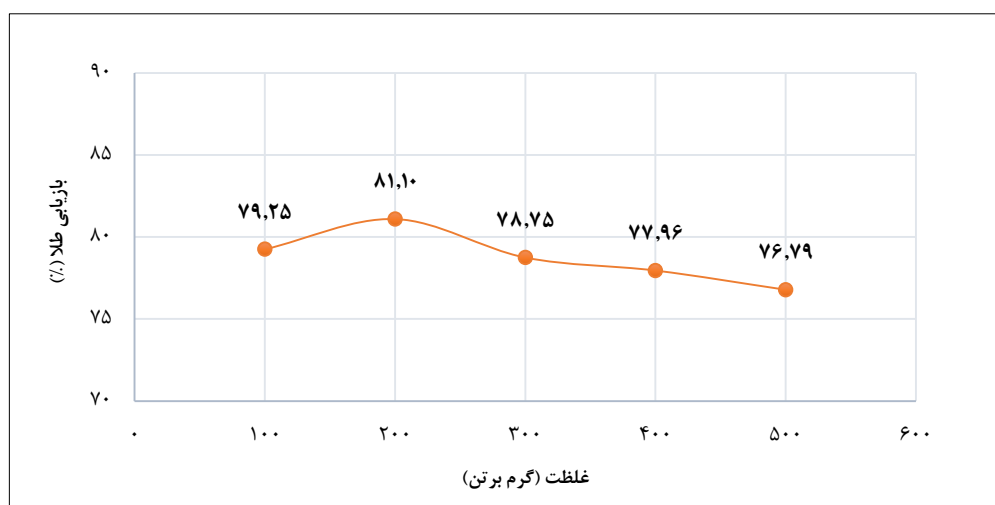
با آمینواسید حذف شد و بر روی کیک به دست آمده عملیات لیچینگ با آمینواسید برای انحلال طلا انجام گرفت.

### ۳-۳-۳- آزمایش‌های لیچینگ با آمینواسید ال- والین بر روی کیک حاصل از لیچینگ با اسید سولفوریک

بعد از انجام آزمایش‌های لیچینگ اسیدی با اسید سولفوریک، آزمایش‌های لیچینگ با استفاده از ال- والین بر روی کیک حاصل از لیچینگ اسیدی انجام و تاثیر پارامترهای غلظت آمینواسید، مقدار اکسیدکننده، دما، pH، درصد جامد پالپ و زمان، بر بازیابی طلا بررسی شد.

### ۳-۳-۱- تاثیر غلظت ال- والین

برای تعیین غلظت بهینه آمینواسید، ۵ آزمایش با غلظت‌های متفاوت ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ گرم بر تن تحت شرایط ثابت دیگر پارامترها مانند دما (۶۰ درجه سانتی‌گراد)، زمان (۲۸ ساعت)، مقدار اکسیدکننده (۲۰ میلی‌لیتر بر لیتر)، درصد جامد پالپ (۱۵ درصد)، pH برابر با ۱۱ و دور همزن (۴۰۰ دور بر دقیقه) انجام گرفت. نتایج در شکل ۲ نشان می‌دهد که در ابتدا با افزایش غلظت از ۱۰۰ گرم بر تن به ۲۰۰ گرم بر تن، بازیابی لیچینگ طلا افزایش می‌یابد و از ۷۹٫۲۵ درصد به حدود ۸۱٫۱ درصد می‌رسد. در ادامه با افزایش غلظت از ۲۰۰ تا ۵۰۰ گرم بر تن، بازیابی لیچینگ طلا به ۷۶٫۷۹ درصد کاهش می‌یابد. زمانی که مقدار غلظت



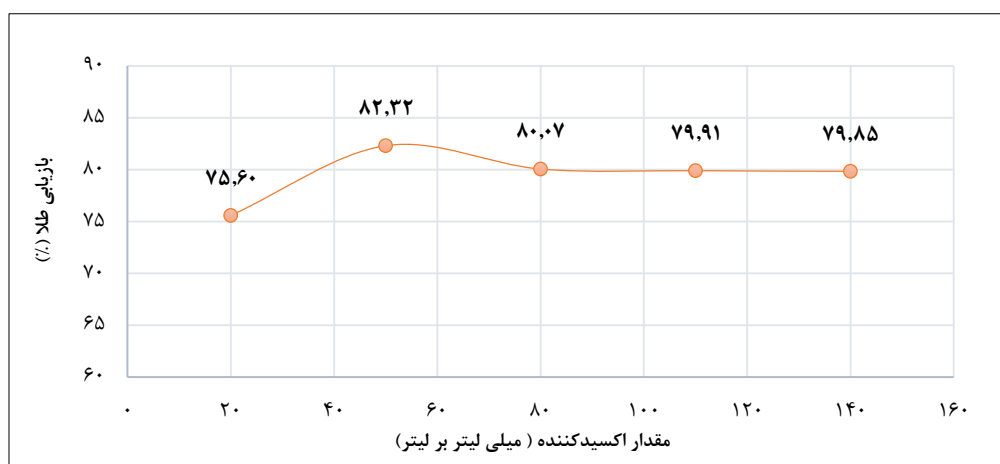
شکل ۲: نمودار تاثیر غلظت ال- والین بر بازیابی طلا (تحت شرایط ثابت دیگر پارامترها مانند دما (۶۰ درجه سانتی‌گراد)، زمان (۲۸ ساعت)، مقدار اکسیدکننده (۲۰ میلی‌لیتر بر لیتر)، درصد جامد پالپ (۱۵ درصد)، pH برابر با ۱۱ و دور همزن (۴۰۰ دور بر دقیقه))

تن)، مقدار اکسیدکننده (۵۰ میلی‌لیتر بر لیتر)، زمان (۲۸ ساعت)، درصد جامد پالپ (۱۵ درصد)، pH برابر با ۱۱ و دور همزن (۴۰۰ دور بر دقیقه) انجام گرفت. نتایج در شکل ۴ نشان می‌دهد که درصد بازیابی لیچینگ طلا در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در پایین‌ترین حد و در حدود ۶۳٫۴۲ درصد است و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در بالاترین حد خود یعنی ۸۲٫۶۶ درصد قرار دارد. با توجه به نتایج آزمایش‌ها، با افزایش دما، سرعت لیچینگ طلا افزایش می‌یابد و این امر به افزایش میزان بازیابی لیچینگ طلا منجر می‌شود. با این حال، تحقیقات نشان می‌دهد در دمای بالا (۸۰ درجه سانتی‌گراد)

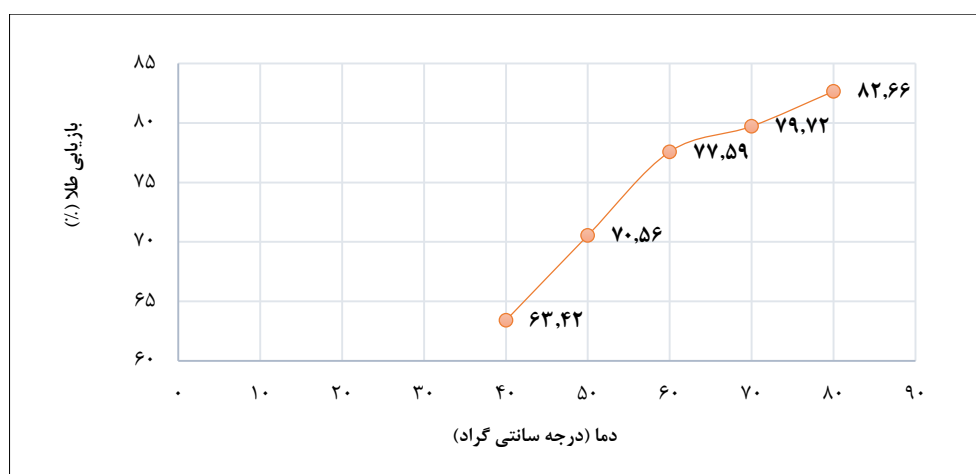
اکسیدکننده بهینه ۵۰ (میلی‌لیتر بر لیتر) انتخاب گردید. افزایش مقدار اکسیدکننده موجب می‌شود سطح مس و سایر فلزات واکنش‌پذیر با ال-والین بیشتر از سطح طلا اکسیده شده و این امر موجب واکنش بیشتر سایر فلزات با آمینواسید، کاهش مقدار آمینواسید و استخراج طلا می‌شود [۱۰].

### ۳-۳-۳-تاثیر دما

برای بررسی تاثیر پارامتر دما، ۵ آزمایش مختلف در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط ثابت دیگر پارامترها مانند غلظت ال-والین (۲۰۰ گرم بر

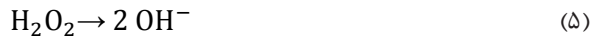


شکل ۳: نمودار تاثیر مقدار اکسیدکننده بر بازیابی لیچینگ طلا (تحت شرایط ثابت غلظت ال-والین (۲۰۰ گرم بر تن)، دما (۶۰ درجه سانتی‌گراد)، زمان (۲۸ ساعت)، درصد جامد پالپ (۱۵ درصد)، pH برابر با ۱۱ و دور همزن (۴۰۰ دور بر دقیقه))



شکل ۴: نمودار تاثیر دما بر بازیابی طلا (تحت شرایط غلظت ال-والین (۲۰۰ گرم بر تن)، مقدار اکسیدکننده (۵۰ میلی‌لیتر بر لیتر)، زمان (۲۸ ساعت)، درصد جامد پالپ (۱۵ درصد)، pH برابر با ۱۱ و دور همزن (۴۰۰ دور بر دقیقه))

افزایش بیشتر pH (۱۱ الی ۱۲) و دمای لیچینگ موجب تولید یون‌های هیدروکسید از پراکسید هیدروژن مطابق معادله ۵ می‌شود:



یون‌های هیدروکسید تولید شده موجب افزایش سرعت لیچینگ و افزایش بازیابی لیچینگ طلا می‌شوند [۱۴]. از طرفی هنگامی که pH افزایش می‌یابد (۱۱ الی ۱۱٫۵)، هیدروژن گروه اسیدی آمینواسید گرفته شده و بار منفی روی آمینواسید تشکیل می‌شود، به طوری که آمینواسید راحت‌تر با فلز وارد واکنش شده و بازیابی لیچینگ افزایش یابد. در ادامه با افزایش pH، هیدروژن گروه آمینی گرفته شده و این ترکیب به یک هسته دوست قوی تبدیل می‌شود که ممکن است با هر ترکیب الکترون دوست در محلول واکنش دهد. در نتیجه میزان ال-والین موثر و در نهایت میزان بازیابی لیچینگ طلا کاهش می‌یابد.

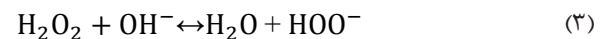
### ۳-۳-۵- تاثیر درصد جامد پالپ

۵ آزمایش مختلف نیز با درصد جامدهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد به ترتیب تحت شرایط ثابت دیگر پارامترها مانند غلظت ال-والین (۲۰۰ گرم بر تن)، مقدار اکسیدکننده (۵۰ میلی لیتر بر لیتر)، دما (۸۰ درجه سانتی گراد)، pH (۱۱٫۵)، زمان (۲۸ ساعت) و دور همزن (۴۰۰ دور بر دقیقه) انجام گرفت. نتایج در شکل ۶ نشان می‌دهد که درصد بازیابی لیچینگ طلا با افزایش درصد جامد پالپ از ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش یافته و از ۸۶٫۱۱ درصد به ۷۶٫۷۷ درصد می‌رسد. این امر ممکن است

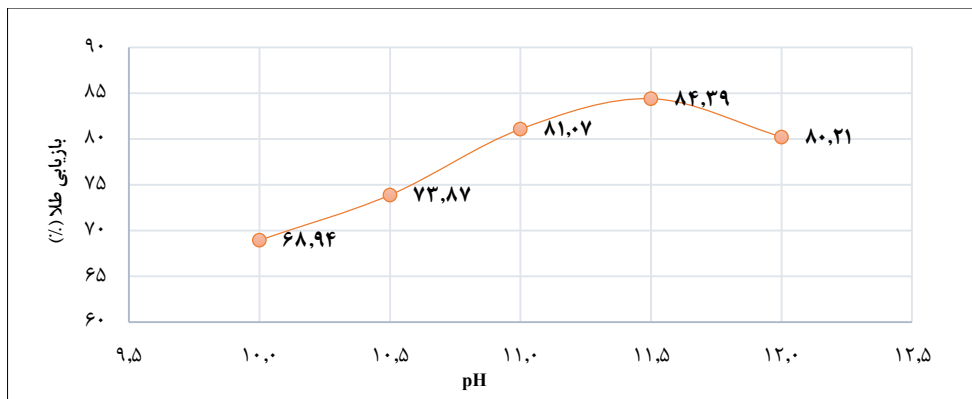
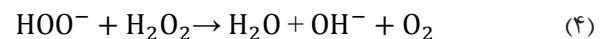
میزان سرعت لیچینگ طلا در ابتدا بیشتر است و با گذشت زمان این سرعت کاهش می‌یابد [۵]. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش دما از ۴۰ تا ۸۰ سانتی گراد، درصد بازیابی لیچینگ طلا ۱۹٫۲۴ درصد افزایش یافته است.

### ۳-۳-۴- تاثیر pH

بعد از بهینه‌سازی دیگر پارامترها، ۵ آزمایش با pHهای ۱۰، ۱۰٫۵، ۱۱، ۱۱٫۵ و ۱۲ تحت شرایط ثابت دیگر پارامترها مانند غلظت ال-والین (۲۰۰ گرم بر تن)، مقدار اکسیدکننده (۵۰ میلی لیتر بر لیتر)، دما (۸۰ درجه سانتی گراد)، زمان (۲۸ ساعت)، درصد جامد پالپ (۱۵ درصد) و دور همزن (۴۰۰ دور بر دقیقه) برای بهینه‌سازی pH انجام گرفت. نتایج در شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش از ۱۰ تا ۱۱٫۵ درصد بازیابی لیچینگ طلا از ۶۸٫۹۴ درصد تا ۸۴٫۳۹ درصد افزایش می‌یابد و از این به بالا، درصد بازیابی لیچینگ طلا کاهش یافته و به عدد ۸۰٫۲۱ درصد می‌رسد. در آزمایش‌های لیچینگ برای تنظیم pH از هیدروکسید سدیم استفاده شده است. همان‌طور که در معادله ۳ مشاهده می‌گردد، پراکسید هیدروژن همراه با قلیا و در pH بالا تجزیه می‌شود.



در pH بالاتر (۱۰ الی ۱۱)، تجزیه پراکسید هیدروژن برای تولید اکسیژن و یون هیدروکسید افزایش می‌یابد. همان‌طور که در معادله ۴ نشان داده شده است:



شکل ۵: نمودار تاثیر pH بر بازیابی طلا (تحت شرایط ثابت غلظت ال-والین (۲۰۰ گرم بر تن)، مقدار اکسیدکننده (۵۰ میلی لیتر بر لیتر)، دما (۸۰ درجه سانتی گراد)، زمان (۲۸ ساعت)، درصد جامد پالپ (۱۵ درصد) و دور همزن (۴۰۰ دور بر دقیقه))

درصد بازیابی لیچینگ طلا در مدت ۱۶ ساعت به ۷۳٫۳۳ درصد می‌رسد و با افزایش زمان لیچینگ تا ۳۲ ساعت درصد بازیابی لیچینگ طلا به عدد ۸۷٫۳۴ افزایش می‌یابد. در واقع با افزایش زمان به مدت ۱۶ ساعت بازیابی لیچینگ طلا به اندازه حدود ۱۴ درصد افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌ها می‌توان پیش‌بینی کرد که با افزایش زمان میزان درصد بازیابی لیچینگ طلا یک روند افزایشی داشته باشد.

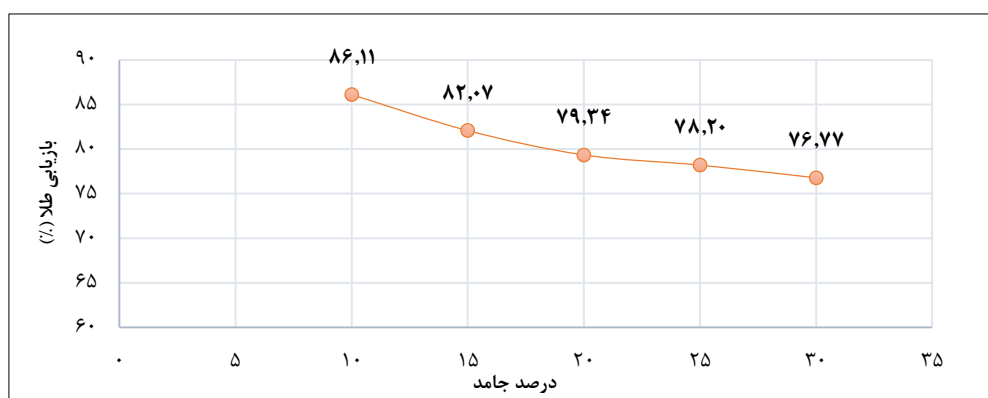
#### ۴- نتیجه‌گیری

تخته مدار چاپی شامل ۵۴۲ پی‌پی‌ام طلا است و عملیات لیچینگ طلا بر روی نمونه‌های ۱۰ گرم با ابعاد ۶۸۴ میکرون انجام گرفت. برای بازیابی لیچینگ طلا از زباله‌های تخته‌مدار چاپی از آمینو اسید ال-والین استفاده شده است. ال-والین

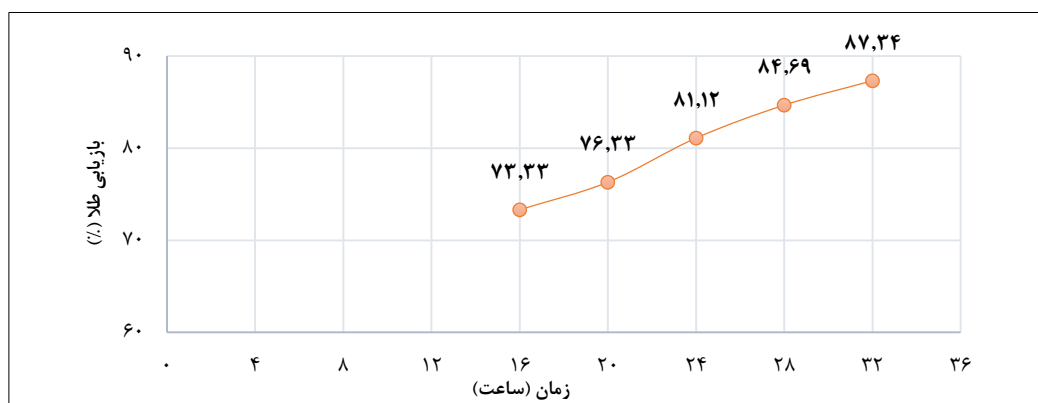
به علت کاهش انتقال اکسیژن به سطح طلا در اثر افزایش درصد جامد پالپ به وجود آید که به کاهش بازیابی لیچینگ طلا منجر می‌شود [۱۵].

#### ۳-۳-۶- تاثیر زمان لیچینگ

بعد از بهینه شدن سایر پارامترها، آخرین گام بهینه‌سازی زمان است که با انجام ۵ آزمایش متفاوت در زمان‌های ۱۶، ۲۰، ۲۴، ۲۸ و ۳۲ ساعت به ترتیب تحت شرایط ثابت دیگر پارامترها مانند غلظت ال-والین (۲۰۰ گرم بر تن)، مقدار اکسیدکننده (۵۰ میلی‌لیتر بر لیتر)، دما (۸۰ درجه سانتی‌گراد)، pH (۱۱٫۵)، درصد جامد پالپ (۱۰ درصد) و دور همزن (۴۰۰ دور بر دقیقه) انجام گرفت. نتایج در شکل ۶ نشان می‌دهد که با افزایش مدت زمان لیچینگ، درصد بازیابی لیچینگ طلا نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۶: نمودار تاثیر درصد جامد پالپ بر بازیابی طلا (تحت شرایط ثابت دیگر پارامترها مانند غلظت ال-والین (۲۰۰ گرم بر تن)، مقدار اکسیدکننده (۵۰ میلی‌لیتر بر لیتر)، دما (۸۰ درجه سانتی‌گراد)، pH (۱۱٫۵)، زمان (۲۸ ساعت) و دور همزن (۴۰۰ دور بر دقیقه))



شکل ۷: نمودار تاثیر زمان بر بازیابی طلا (تحت شرایط ثابت دیگر پارامترها مانند غلظت ال-والین (۲۰۰ گرم بر تن)، مقدار اکسیدکننده (۵۰ میلی‌لیتر بر لیتر)، دما (۸۰ درجه سانتی‌گراد)، pH (۱۱٫۵)، درصد جامد پالپ (۱۰ درصد) و دور همزن (۴۰۰ دور بر دقیقه))

*amino acids in the thiosulphate leaching of gold*". Minerals Engineering, 24: 1022-1024.

- [5] Eksteen, J. J., and Oraby, E. A. (2015). "The leaching and adsorption of gold using low concentration amino acids and hydrogen peroxide: Effect of catalytic ions, sulphide minerals and amino acid type". Minerals Engineering, 70: 36-42.
- [6] Renjie, L., Jingying, L., and Zhongying, G. (2016). "Review on Chromobacterium Violaceum for Gold Bioleaching from E-waste". Procedia Environmental Sciences, 31: 947-953.
- [7] Tanda, J., and Oraby, E. A. (2017). "An investigation into the leaching behaviour of copper oxide minerals in aqueous alkaline glycine solutions". Hydrometallurgy, 167: 153-162.
- [8] رئیسی، ز.؛ ۱۳۹۸؛ "بازیابی طلا از پسماندهای الکترونیکی با استفاده از روش استخراج حلالی". پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه زنجان، ۸۳ صفحه.
- [9] Broeksma, C. P. (2018). "Evaluating the applicability of an alkaline amino acid leaching process for base and precious metal leaching from printed circuit board waste". Master Thesis Extractive Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Stellenbosch University, pp. 140.
- [10] Perea, C. G., and Restrepo, O. J. (2018). "Use of amino acids for gold dissolution". Hydrometallurgy, 177: 79-85.

[۱۱] آقابابایی، ش.؛ ۱۳۹۸؛ "بررسی پارامترهای مؤثر بر لیچینگ مس از باطله تخته‌مدارهای چاپی به روش طراحی آزمایش‌ها". پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه لرستان، ۷۴ صفحه.

- [12] Tuncuk, A. (2019). "Lab scale optimization and two-step sequential bench scale reactor leaching tests for the chemical dissolution of Cu, Au & Ag from waste electrical and electronic equipment (WEEE)". Waste Management, 95: 636-643.
- [13] Gang Zhou, C. Y., Huixin, Zh., Wei, Y., Zhaoliang, W., and Wei, L. (2020). "Bioleaching assisted foam fractionation for recovery of gold from the printed circuit boards of discarded cellphone". Waste Management, 101: 200-209.
- [14] Nowicka, A. M. (2020). "Hydroxyl Radicals Attack Metallic Gold". Angewandte Chemical, 122: 1079-1081.
- [15] Jinxiu Huang, Q. S. K., Mengjun, Ch., Haiyan, Ch., and Shu, Ch. (2014). "Leaching behavior of copper from waste printed circuit boards with Brønsted acidic ionic liquid". Waste Management, 34: 483-488.

از نظر محیط زیستی ایمن است و بر خلاف سیانور و سایر معرف‌های لیچینگ هیچ عارضه‌ای برای انسان‌ها، حیوانات و گیاهان ندارد. همچنین از نظر اقتصادی ارزان قیمت‌تر و کارآمدتر از سایر معرف‌های لیچینگ است. تاثیر پارامترهای غلظت ال-والین (در محدوده ۱۰۰ تا ۵۰۰ گرم بر تن)، مقدار اکسیدکننده (در محدوده ۲۰ تا ۱۴۰ میلی‌لیتر بر لیتر)، دما (در محدوده ۴۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد)، pH (در محدوده ۱۰ تا ۱۲)، درصد جامد پالپ (در محدوده ۱۰ تا ۳۰ درصد) و زمان (در محدوده ۱۶ تا ۳۲ ساعت) بر بازیابی لیچینگ طلا مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که در بازیابی طلا به ترتیب پارامترهای دما، زمان، pH، نسبت به درصد جامد پالپ، غلظت ال-والین و مقدار اکسیدکننده اهمیت بیشتری دارند. پس از بررسی تاثیر هر پارامتر و بهینه‌سازی پارامترهای تاثیرگذار، در نهایت درصد بازیابی لیچینگ طلا به وسیله ال-والین (بر روی کیک به دست آمده از لیچینگ با اسیدسولفوریک) تحت شرایط غلظت ال-والین ۲۰۰ گرم بر تن، دما ۸۰ درجه سانتی‌گراد، درصد جامد پالپ ۱۰ درصد، مقدار اکسیدکننده ۵۰ میلی‌لیتر بر لیتر، pH برابر با ۱۱٫۵ و زمان لیچینگ ۳۲ ساعت حدود ۸۷٫۳۴ درصد به دست آمد. تحت همین شرایط بر روی نمونه اولیه لیچینگ مستقیم به وسیله ال-والین انجام گرفت و درصد بازیابی لیچینگ طلا حدود ۶۲٫۲۳ درصد به دست آمد. نتایج نشان داد که با انجام لیچینگ اسیدی قبل از لیچینگ به وسیله ال-والین درصد بازیابی لیچینگ طلا به دلیل حذف بخش قابل توجهی از مس و سایر فلزات پایه حدود ۲۵٫۱۱ درصد افزایش می‌یابد.

## ۵- مراجع

- [1] Arshadi, M., and Mousavi, S. M. (2014). "Simultaneous recovery of Ni and Cu from computer-printed circuit boards using bioleaching: Statistical evaluation and optimization". Bioresource Technology, 174: 233-242.
- [2] Akcil, A., Erust, C., ekha, C. S., Ozgun, M., Sahin, M., and Tuncuk, A. (2015). "Precious metal recovery from waste printed circuit boards using cyanide and non-cyanide lixiviants-A review". Waste Management, 45: 258-271.
- [۳] کیانی، و.؛ ۱۳۹۸؛ "بررسی تأثیر هم افزایی آمینو اسیدها در فرآیند سیانوراسیون کارخانه فرآوری طلای پویا زرکان آق دره". پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه لرستان، ۹۳ صفحه.
- [4] Feng, D., and Deventer, J. S. J. (2011). "The role of

<sup>8</sup> *Pseudomonas fluorescens*

<sup>9</sup> Tanda

<sup>10</sup> azurite

<sup>11</sup> chrysocolla

<sup>12</sup> malachite

<sup>13</sup> Cara Philipa

<sup>14</sup> Perea

<sup>15</sup> Tuncuk

<sup>16</sup> Gang Zhou

<sup>17</sup> American Society for Testing and Materials

<sup>18</sup> Agilent

<sup>1</sup> Deventer

<sup>2</sup> Ata Akcil

<sup>3</sup> Eksteen

<sup>4</sup> Oraby

<sup>5</sup> Liu

<sup>6</sup> violaceum

<sup>7</sup> *Pseudomonas aeruginosa*