Efficiency of electrocoagulation process for lead removal from wastewater

A. Assadi* MM. Emamjomeh** M. Ghasemi*** M. Mohammadian Fazli*

*Assistant Professor of Environmental Health Engineering, School of Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran
**Associate Professor of Environmental Health Engineering, Social Determinants of Health Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran
***M.Sc. Student in Environmental Health Engineering, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran

Abstract

Background: An excessive level of heavy metals is one of the most common environmental pollutants that damage human health. Electrocoagulation (EC) is an electrochemical technique with different applications that has been used for lead removal from wastewater.

Objective: The aim of this study was to determine efficiency of electrocoagulation process for lead removal from wastewater.

Methods: This laboratory study was performed in School of Public Health affiliated to Qazvin University of Medical Sciences during 2013. A laboratory batch electrocoagulation reactor was designed and constructed from Perspex with dimensions of 17 cm* 12 cm* 40 cm and was applied for coagulation and flotation. The aluminium electrodes were connected in a bipolar configuration. Electrolysis was performed for 30 min in each run. Samples were taken every 5 minutes and parameters such as current density, electrolysis time, pH and different concentrations of lead were measured. The lead concentration was 5, 10 and 15 mg/l, and the pH was ranged from 5 to 9.

Findings: The removal efficiency was found to be dependent on the pH, initial concentration, current density, and electrolysis time. The removal efficiency was decreased with increased initial concentration while it was increased with increase in electrolysis time and current density. The removal efficiency of 94% was achieved for the current density of 33 A/m^2, pH of 7, and electrolysis time of 30 min, respectively.

Conclusion: With regards to the results, the electrocoagulation process is an effective method for lead removal from wastewater.

Keywords: Electrocoagulation, Lead, Waste Water

Citation: Assadi A, Emamjomeh MM, Ghasemi M, Mohammadian Fazli M. Efficiency of electrocoagulation process for lead removal from wastewater. J Qazvin Univ Med Sci. 2015; 18 (6): 18-23.

Corresponding Address: Maryam Ghasemi, School of Public Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran
Email: ghasemimaryam17@yahoo.com
Tel: +98-912-7819363
Received: 6 Apr 2014
Accepted: 3 Sep 2014

بررسی کارایی فرایند انعقاد الکتریکی در حذف سرب از فاضلاب

دکتر علی اسدی* دکتر محمد مهدی امام جمعه** مریم قاسمی*** دکتر مهران محمدیان فضلی*

* استادیار مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران
** دانشیار مهندسی بهداشت محیط مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
*** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران

آدرس نویسنده مسؤول: زنجان، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، دانشکده بهداشت، تلفن ۰۹۱۲۷۸۱۹۳۶۳
Email: ghasemimaryam17@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۱۲

چکیده

زمینه: حضور بیش از حد فلزهای سنگین از رایج‌ترین آلاینده‌های محیط زیست است که به سلامت انسان‌ها آسیب می‌رساند. انعقاد الکتریکی یک سیستم الکتروشیمیایی با کاربردهای فراوان است که برای حذف سرب از فاضلاب استفاده می‌شود.

هدف: مطالعه به منظور بررسی کارایی فرایند انعقاد الکتریکی در حذف سرب از فاضلاب انجام شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه آزمایشگاهی در سال ۱۳۹۲ در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین انجام شد. یک راکتور ناپیوسته آزمایشگاهی انعقاد الکتریکی از جنس شیشه پلکسی گلاس به ابعاد ۱۲×۱۷×۴۰ سانتی‌متر طراحی و برای انجام عمل انعقاد و شناورسازی به کار گرفته شد. در این آزمایش اتصال الکترودهای آلومینیوم به صورت دو قطبی و زمان واکنش ۳۰ دقیقه بود. نمونه‌گیری هر ۵ دقیقه یک بار به مدت ۳۰ دقیقه انجام و متغیرهایی مانند pH، مقدار جریان، زمان واکنش و غلظت‌های مختلف سرب بررسی شدند. این آزمایش در غلظت‌های ۵، ۱۰و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر انجام و pH اولیه نمونه‌ها بین ۵ تا ۹ تنظیم شد.

یافته‌ها: غلظت آلاینده، زمان واکنش، دانسیته جریان و pH در میزان کارایی حذف مؤثر بودند؛ به طوری که با افزایش غلظت اولیه کارایی حذف کاهش یافت، ولی با افزایش دانسیته جریان الکتریکی و زمان واکنش، کارایی حذف افزایش یافت. کارایی حذف در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر، pH برابر ۷ و دانسیته جریان ۳۳ آمپر بر مترمربع و مدت زمان ۳۰ دقیقه، برابر ۹۴٪ بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌ها، فرایند انعقاد الکتریکی روشی مؤثر برای کاهش میزان سرب از فاضلاب است.

کلیدواژه‌ها: انعقاد الکتریکی، سرب، فاضلاب

مقدمه:

امروزه یکی از چالش‌های عمده پیش روی بشر، تأمین آب سالم برای جمعیت عظیمی از مردم در سرتاسر جهان است. نیاز برای آب تمیز و سالم به ویژه در کشورهای در حال توسعه از اهمیت خاصی برخوردار است. رودخانه‌ها، کانال‌ها، مصب‌ها و دیگر منابع آب به دلیل تخلیه کنترل نشده پساب‌های صنعتی و دیگر فرایندهای طبیعی همواره در معرض انواع آلودگی‌ها قرار دارند.[۱]

سرب یکی از فلزهای سنگین است که سمیت بالایی دارد و به طور طبیعی در پوسته زمین یافت می‌شود. این فلز به علت توان هدایت الکتریکی و خواص شیمیایی مصارف گسترده‌ای دارد و در فاضلاب اکثر صنایع دیده می‌شود.[۲] از عواقب ورود فلزهای سنگین به بدن می‌توان اختلال‌های عصبی، تهوع و استفراغ، آسیب به کبد و کلیه، سردرد و سرگیجه را نام برد. به منظور حذف فلزهای سنگین (سرب) راهکارهای متعددی پیشنهاد شده است از جمله فرایندهای تعویض یون، احیای الکتریکی، رسوب‌سازی، اسمز معکوس، ترسیب شیمیایی با کمک آهک همراه با جذب و انعقاد الکتریکی که هر یک از این روش‌ها مزایا و معایبی دارند.[۳]

انعقاد الکتریکی فرایندی است که آلاینده‌های موجود در

محیط آبی به کمک جریان الکتریسیته ناپایدار می‌شوند. رآکتور انعقاد یک سلول الکتریکی حاوی آند و کاتد است. به طور معمول، جنس آند یک فلز هادی مانند آلومنیوم و آهن است و با ایجاد شارژ الکتریکی باعث خنثی‌سازی و حذف آلاینده‌ها می‌شود. در این فرایند، کوآگولانت یعنی هیدروکسیدهای فلزی تولید می‌شوند. هیدروکسیدهای فلزی با ترکیب شدن با آلاینده‌ها، لخته‌های بزرگ‌تری ایجاد و رسوب می‌کنند. همچنین با بالا آمدن حباب‌های هوا در سطح رآکتور، ذرات سبک را به سطح محلول شناور می‌کنند و در نتیجه آلاینده‌ها با کمک دو عمل شناورسازی و ته‌نشینی از محیط حذف می‌شوند.[۴]

یون AL^{+3} با تیغه آلومنیومی و یون Fe^{+2} با تیغه آهنی ایجاد می‌شود. آهن و آلومینیوم به دلیل قیمت مناسب و دسترسی آسان، بیش‌ترین استفاده را در انعقاد الکتریکی دارند. هیدروکسید فلزهای مذکور باعث انعقاد و ایجاد لخته و در نتیجه حذف آلاینده مورد نظر می‌شود.[۵]

این تحقیق با هدف تعیین کارایی حذف سرب از فاضلاب به روش انعقاد الکتریکی انجام شد.

❋مواد و روش‌ها:

این مطالعه آزمایشگاهی در سال ۱۳۹۲ در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین انجام شد. در این تحقیق رآکتور آزمایش انعقاد الکتریکی از جنس شیشه پلکسی با حجم مفید ۶ لیتر و با ابعاد ۱۲×۱۷×۴۰ سانتی‌متر ساخته شد و تأثیر متغیرهای غلظت (۵، ۱۰و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر)، دانسیته جریان (۱۱، ۲۲ و ۳۳ آمپر بر متر مربع) ، pH (۵، ۷ و ۹) و زمان واکنش (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه) بررسی گردید. تیغه‌های مورد استفاده برای الکترودها از جنس آلومنیوم به ابعاد ۳۰×۸ سانتی‌متر بود و در هر آزمایش از ۴ الکترود به صورت موازی استفاده شد. فاصله بین تیغه‌ها در هر آزمایش ثابت و برابر ۱ سانتی‌متر تنظیم گردید. برای هم زدن محلول، از یک پروانه از جنس فولاد ضد اسید و ضد زنگ استفاده شد. الکترودها به صورت ۲ قطبی به منبع تغذیه متصل شدند؛ بدین مفهوم که تنها دو الکترود کناری به قطب‌های مثبت و منفی متصل شدند و دو الکترود میانی تنها براساس مکانیسم خود القایی ایفای نقش می‌کردند.

محلول استوک سرب با حل کردن ۰/۱۵۹۸ گرم پودر نیترات سرب در آب ۲ بار تقطیر تهیه شد. علت استفاده از آب مقطر برای ساخت محلول سرب بررسی حذف این فلز بدون تداخل سایر مواد بود که در سایر تحقیق‌ها نیز از آن استفاده شده بود.[۶] در تمام آزمایش‌ها آب ۲ بار تقطیر به همراه نمک کلرور سدیم خالص ۱ میلی‌گرم بر لیتر (برای افزایش رسانایی محلول) به عنوان الکترولیت استفاده شد.

برای تنظیم pH نمونه‌ها از محلول‌های اسید نیتریک و هیدروکسید سدیم در غلظت‌های ۱ مولار (غلظت استاندارد) و برای اندازه‌گیری آن از دستگاه pH متر استفاده شد.

برای تأمین انرژی الکتریکی آزمایش‌ها از یک منبع تغذیه جریان برق مستقیم دیجیتالی مدل JPS-303D استفاده شد.

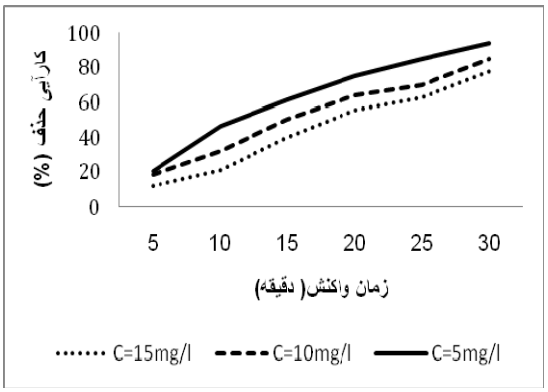
نمونه‌های فاضلاب سنتتیک حاوی غلظت های ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نیترات سرب پس از تنظیم pH در مقادیر مختلف به رآکتور تزریق شدند. سرعت اختلاط نیز ۴۰۰rpm بود. پس از برقراری جریان الکتریکی با ولتاژ ثابت ۳۰ ولت از میانه رآکتور هر ۵ دقیقه یک بار در مدت زمان ۳۰ دقیقه (به علت ثابت شدن کارایی فرایند) نمونه‌هایی با حجم ۲۵ میلی‌لیتر برداشته شد. سپس به منظور حذف لخته‌های تشکیل شده، نمونه‌های انتخابی از صافی غشایی با اندازه منافذ ۰/۴۵ میکرومتر عبور داده شدند. در پایان نمونه‌های صاف شده از نظر غلظت سرب باقی مانده با استفاده از دستگاه جذب اتمی در طول موج ۲۱۷ نانومتر و مطابق با روش‌های استاندارد برای آزمایش آب و فاضلاب تعیین مقدار شدند.[۷]

آزمایش‌ها ۳ بار تکرار و سپس میانگین داده‌ها با حدود اطمینان ۹۵ درصد به وسیله نرم‌افزار اکسل تحلیل و نتایج گزارش شدند.

❋یافته‌ها:

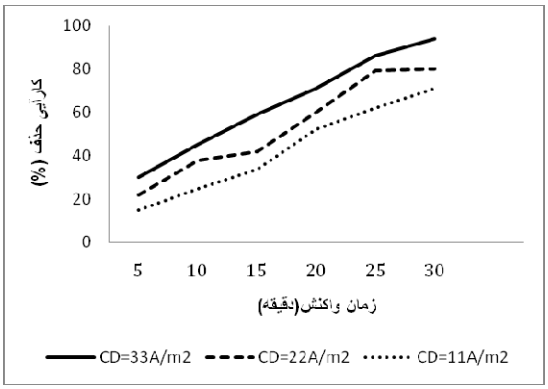
در بین غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سرب، بالاترین کارایی در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر دیده شد (نمودار شماره ۱).

نمودار ۱- تأثیر تغییرات غلظت اولیه سرب بر کارایی حذف آن (pH=۷ ، دانسیته جریان =۳۳ آمپر بر متر مربع، زمان واکنش= ۳۰ دقیقه)



در بین دانسیته جریان الکتریسیته ۱۱، ۲۲ و ۳۳ آمپر بر مترمربع، بالاترین کارایی حذف سرب (۹۴ درصد) در جریان ۳۳ آمپر بر مترمربع به دست آمد (نمودار شماره ۲).

نمودار ۲- تأثیر دانسیته جریان بر کارایی حذف سرب (pH=۷ ، غلظت=۵ میلی‌گرم بر لیتر، زمان واکنش=۳۰ دقیقه)



افزایش pH باعث کاهش کارایی فرایند انعقاد الکتریکی در حذف فلز سرب شد (جدول شماره ۱).

جدول ۱- تأثیر pH بر کارایی حذف سرب (غلظت= ۵ میلی‌گرم بر لیتر، دانسیته جریان =۳۳ آمپر بر متر مربع، زمان واکنش=۳۰ دقیقه)

pH	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت نهایی (میلی‌گرم بر لیتر)	کارایی حذف (٪)
۵	۵	۱/۱	۷۸
۷	۵	۰/۳	۹۴
۹	۵	۰/۷	۸۶

❋بحث و نتیجه‌گیری:

این مطالعه نشان داد کارایی فرایند انعقاد الکتریکی در حذف آلاینده سرب با افزایش دانسیته جریان و زمان واکنش رابطه مستقیم داشت.

طی واکنش انعقاد الکتریکی زمان واکنش عبارت است از مدت زمان اعمال اختلاف ولتاژ الکتریکی مورد نظر در پیل الکترولیز که باعث برقراری شدت جریان در مدار الکتریکی می‌شود. افزایش زمان واکنش مطابق قانون فارادی، باعث افزایش مقدار یون‌های فلزی و هیدروکسید تولید شده در آند و کاتد می‌شود. در نتیجه غلظت هیدروکسید فلزی افزایش می‌یابد و کارایی حذف بالا می‌رود. به طور معمول افزایش کارایی تصفیه با افزایش زمان واکنش نسبت خطی ندارد و این میزان پس از طی زمانی مشخص، دیگر منجر به افزایش قابل توجهی در کارایی تصفیه نمی‌شود و در نتیجه افزایش زمان از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست و زمان واکنش به پایان می‌رسد.[۸] همان طور که انتظار می‌رفت در این مطالعه نیز با گذشت زمان، کارایی حذف سرب افزایش یافت و بالاترین کارایی حذف در زمان ۳۰ دقیقه دیده شد.

در مطالعه مرزوک و همکاران بعد از ۱۵ دقیقه زمان واکنش در غلظت‌های اولیه ۵۰ و۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر آهن، کارایی حذف به ترتیب برابر ۹۸/۶۱ و ۷۰/۲۴ درصد به دست آمد.[۹] در مطالعه حاضر نیز در غلظت‌های اولیه بالاتر، کارایی حذف سرب کاهش یافت، به عبارتی دیگر، در غلظت‌های بالا به ولتاژهای بالاتر یا زمان‌های واکنش

طولانی‌تر نیاز بود و این امر با نتایج مطالعه رضایی و همکاران مطابقت داشت که حذف کروم ۶ ظرفیتی و نیترات از فاضلاب توسط فرایند انعقاد الکتریکی را بررسی کردند.[۱۰]

دانسیته جریان الکتریسیته یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل سرعت واکنش در فرایندهای الکتروشیمیایی از جمله فرایند انعقاد الکتریکی است؛ زیرا نه تنها تعیین‌کننده مقدار کوآگولانت تزریقی به محلول است، بلکه بر روی میزان تولید حباب‌ها، اندازه و رشد لخته‌های تولیدی نیز مؤثر است و این می‌تواند کارایی تصفیه فرایند انعقاد الکتریکی را تحت تأثیر قرار دهد.[۱۱] در مطالعه حاضر با افزایش میزان دانسیته جریان الکتریسته، کارایی حذف نیز افزایش یافت. این امر بیان‌گر این واقعیت است که در شرایط شدت جریان بالا، آلومینیوم اکسید شده نیز افزایش می‌یابد و باعث تولید مقادیر بیش‌تر رسوب‌ها و لخته‌های هیدروکسید می‌شود که میزان جذب بالایی دارند و در پی آن نیز کارایی حذف افزایش می‌یابد.[۱۲] همچنین با زیاد شدن شدت جریان، دانسیته حباب‌ها افزایش و اندازه آن‌ها کاهش می‌یابد و این امر باعث حذف سریع و بیش‌تر آلاینده‌ها می‌شد.[۱۳] این امر با نتایج به دست آمده توسط کومار و همکاران در بررسی حذف آرسنیک از محیط‌های آبی با استفاده از فرایند انعقاد الکتریکی مطابقت دارد.[۱۴] همچنین با مطالعه بذرافشان و همکاران در کاربرد فرایند انعقاد الکتریکی با الکترودهای آلومنیومی در حذف کادمیوم و کروم VI از محیط‌های آبی همخوانی دارد.[۱۵] در مجموع با توجه به نتایج مطالعه حاضر، دانسیته جریان ۳۳ آمپر بر مترمربع جهت رسیدن به کارایی مطلوب پیشنهاد می‌شود.

فرایند انعقاد الکتریکی به طور چشمگیری به pH محلول وابسته است و مقدار آن طی انجام فرایند افزایش می‌یابد. طی فرایند انعقاد الکتریکی، pH واکنش دچار تغییراتی می‌شود و دامنه این تغییرات به pH اولیه محلول و جنس الکترود مصرفی بستگی دارد.[۱۶] به طور مثال، در زمان استفاده از الکترودهای آلومینیومی اگر pH اولیه محلول کم‌تر از ۲ یا بیش‌تر از ۱۲ باشد، تغییر چندانی در pH نهایی دیده نمی‌شود. در شرایطی که pH محلول اسیدی باشد، افزایشی در pH نهایی حاصل می‌شود که این امر می‌تواند ناشی از متصاعد شدن گاز هیدروژن در کاتد باشد. اگر pH اولیه محلول قلیایی باشد، کمی از مقدار pH نهایی کاسته می‌شود.[۱۷] به طور کلی، به نظر می‌رسد فرایند انعقاد الکتریکی به عنوان تعدیل‌کننده pH عمل می‌کند. در مطالعه حاضر کارایی حذف سرب در pH خنثی بالاتر بود، ولی افزایش pH باعث کاهش کارایی حذف شد.

در نهایت می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فرایند انعقاد الکتریکی با استفاده از الکترودهای آلومینیومی می‌تواند به عنوان یک روش مطمئن، قابل انعطاف، سریع، مؤثر و اقتصادی برای تصفیه آب‌های حاوی فلز سنگین سرب استفاده شود.

❋مراجع:

1. Rahimpour A, Rajaeian B, Hosienzadeh A, et al. Treatment of oily wastewater produced by washing of gasoline reserving tank using self-made and commercial nanofiltration membranes. Desalination 2011; 265 (1-3): 80-190 [In Persian]

2. Mohammed AA, Dhia Fadhil M. Removal of lead from simulated wastewater by electrocoagulation method. J Engineering 2010 Dec; 16 (4): 5811-21

3. Aoudj S, Khelifa A, Drouiche N, et al. Electrocoagulation process applied to wastewater containing dyes from textile industry. J. of Chem Eng Process 2010 Nov; 49 (11): 1176-82

4. Emamjomeh MM, Sivakumar M. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation / flotation process. J Environ Manage 2009 Apr; 90 (5): 1663-79

5. Heidmann I, Calmano W. Removal of

Zn(II), Cu(II), Ni(II), Ag(I) and Cr(VI) present in aqueous solutions by aluminium electrocoagulation. J Hazard Mater 2008 Apr 15; 152 (3): 934-41

6. Sridhar R, Sivakumar V, Prince Immanuel V, Prakash Maran J. Treatment of pulp and paper industry bleaching effluent by electrocoagulation process. J Hazard Mater 2011 Feb 28; 186 (2-3): 1495-502

7. APHA A, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. 1995. American public health association, American water works association.

8. Cerqueira A, Russo C, Marques MRC. Electroflocculation for textile wastewater treatment. Braz J Chem Eng 2009 Oct-Dec; 26 (4): 659-68

9. Merzouk B, Gourich B, Sekki A, et al. Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation - electroflotation technique. J Hazard Mater 2009 May 15; 164 (1): 215-22

10. Rezaee A, Hossini H, Masoumbeig H, et al. Simultaneous removal of hexavalent chromium and nitrate from wastewater using electrocoagulation method. IJESD J Hazard Mater 2011; 2: 294-8

11. Ilhan F, Kurt U, Apaydin O, Gonullu MT. Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. J Hazard Mater 2008 Jun 15; 154 (1-3): 381-9

12. Arslan-Alaton I, Kabdasli I, Vardar B, Tunay O. Electrocoagulation of simulated reactive dyebath effluent with aluminum and stainless steel electrodes. J Hazard Mater 2009 May 30; 164 (2-3): 1586-94

13. Ahmadi Moghadam M, Amiri H. Investigation of TOC removal from industrial wastewater using electrocoagulation process. Iran J Health & Environ 2010; 3 (2): 186-93 [In Persian]

14. Ratna Kumar P, Chaudhari S, Khilar KC, Mahajan S. Removal of arsenic from water by electrocoagulation. Chemosphere 2004 Jun; 55 (9): 1245-52

15. Bazrafshan E, Mahvi AH, Nasseri S, Shaieghi M. Performance evaluation of electrocoagulation process for diazinon removal from aqueous environments by using iron electrodes. Iran J Environ Health Sci Eng 2007; 4 (2): 127-32

16. Mouedhen G, Feki M, Wery Mde P, Ayedi HF. Behavior of aluminum electrode in electrocoagulation process. J Hazard Mater 2008 Jan 15; 150 (1): 124-35

17. Jaafarzadeh Haghighi fard N, Talaiekhozani AR, Talaiekhozani MR, Jorfi S. Evaluation of electrochemical treatment in degradation of wastewater contaminated by Propylene Glicol. Iran J Health & Environ 2010; 2 (4): 232-9 [In Persian]