Valuation of the efficiency of epipelones and epiphytons in the rice paddies of Guilan province in releasing potassium from muscovite and phlogopite

Article Info

Article type:

Research Article

Keywords: *Periphyton*, *Epipelon*, *Epiphyton*, *Soluble potassium*

ABSTRACT

Periphytons in aquatic ecosystems has the ability to absorb/release significant amount of nutrients. This study examines the effect of epiplon and epiphyton on changes in pH, EC and soluble potassium, periodically. This experiment was conducted as a factorial in a completely randomized design with three factors: 1- periphyton at 22 levels (9 samples of epipelon, 9 samples of epiphyton, 3 fallow soil samples and control), 2- mineral at 2 levels (muscovite and phlogopite), 3- sampling time at 4 levels (0, 7, 14 and 21).

Both types of periphyton showed high potential in releasing potassium from silicate minerals. Throughout the 21-day experiment, all treatments had significant statistical differences compared to the control (without periphyton/soil but whit minerals). Overall, the highest dissolution rate from both minerals were observed in the epiphyton treatments. Potassium dissolution increased in all treatments until 7th day and then relatively decreased in most treatments by day 14, which was attributed to increased biomass in medium. The highest soluble potassium on 21th day was 14.33 mg Ł , which shoes a 3.6-fold increase compared to the control. The lowest soluble potassium levels were observed in treatments inoculated with fallow soil. Solubilization rate of phlogopite was higher than that of muscovite, but in most treatments, the difference was not statistically significant. Overall, pH and EC results showed increasing (indicating increased photosynthetic activity) and decreasing (indicating increased biomass and higher absorption of soluble materials) trends, respectively.

Cite this article:

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press. DOI:

ویرایش اولیه

بررسی کارایی اپی‌پلون‌ها و اپی‌فایتون‌های شالیزارهای استان گیلان در آزادسازی پتاسیم از موسکویت وفلوگوپیت

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

کلیدواژه‌ها: *پریفایتون، اپی‌پلون، اپی‌فایتون، پتاسیم محلول*

چکیده

پریفایتون‌ها در زیست‌بوم‌های آبی توان جذب/رهاسازی مقدار زیادی از عناصر غذایی را دارند. در این مطالعه به بررسی تأثیر اپی‌پلون و اپی‌فایتون بر تغییرات pH، EC و پتاسیم محلول به صورت دوره‌ای پرداخته شده است. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور ۱- پریفایتون در ۲۲ سطح (۹ نمونه اپی‌پلون، ۹ نمونه اپی‌فایتون، ۳ نمونه خاک آیش و شاهد) ۲- کانی در دو سطح (موسکویت و فلوگوپیت) ۳- زمان در چهار سطح (۰، ۷، ۱۴ و ۲۱) انجام شد. هر دو نوع پریفایتون مورد آزمایش، توان بالایی در آزادسازی پتاسیم کانی‌های سیلیکاته داشتند و در طول آزمایش تمام تیمارها دارای اختلاف آماری معنی‌دار با شاهد (بدون پریفایتون/خاک و دارای کانی) بودند. در حالت کلی بالاترین میزان انحلال از هر دو کانی مربوط به تیمارهای اپی‌فایتون بود. انحلال پتاسیم در تمام تیمارها تا روز ۷ به صورت افزایشی بوده و سپس در بیش‌تر تیمارها در روز ۱۴ با کاهش نسبی مواجه شد که مربوط به افزایش زیست‌توده در محیط کشت می‌باشد. بیش‌ترین میزان پتاسیم محلول در روز ۲۱، به میزان ۱۴/۳۳ میلی‌گرم بر لیتر بود که نسبت به شاهد افزایش ۳/۶ برابری را نشان داد. کمترین میزان پتاسیم محلول مربوط به تیمارهایی بود که با خاک آیش مایه‌زنی شده بودند. میزان انحلال فلوگوپیت بیش‌تر از موسکویت بود اما در بیش‌تر تیمارها از نظر آماری اختلاف معنی‌دار نداشتند. نتایج کلی pH و EC به ترتیب روند افزایشی (نشان از افزایش فعالیت فتوسنتزی) و کاهشی (افزایش زیست‌توده و جذب بیش‌تر مواد محلول) را نشان داد.

استناد:

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

لایه‌های زیستی پریفایتونی از یک مجموعه پیچیده تشکیل شده‌اند که شامل انواع مختلف جلبک، قارچ، باکتری، پروتوزوآ و متازوآ می‌باشند. این لایه زیستی که در بیش‌تر اکوسیستم‌های آبی حضور دارند، نقش مهمی در تولیدات اولیه و تأمین مواد غذایی ایفا می‌کنند (علیخانی و همکاران، ۱۴۰۰). جوامع میکروبی ساکن در لایه‌های زیستی نقش به سزایی در تبادل عناصر غذایی بین آب، خاک و رسوبات ایفا می‌کند (Wu et al., 2018).

پریفایتون‌ها بر اساس محل تشکیل شدن نامگذاری می‌شوند، به این صورت که انواع تشکیل شده روی رسوبات بستر herpobenthos و انواع تشکیل شده روی بستر خاک haptobenthos نامیده می‌شوند. Haptobenthosها خود به هشت نوع تقسیم‌بندی می‌شوند که شامل Epiphyton (چسبیده به گیاهان، قطعات گیاهی و ماکروفیت‌های بزرگ)، Epilithon (چسبیده به مواد سخت مانند سنگ)، Epizoon (چسبیده به روی بدن حیوانات)، Episammon (روی دانه‌های شن و ماسه)، Epixylon (متصل به چوب)، Endozoon (درون بدن حیوانات)، Endophyton (درون گیاهان) و Endolithon (درون سنگ) می‌باشند. Herpobenthosها نیز به چهار گروه تقسیم می‌شوند که شامل Metaphyton (روی رسوبات ساحلی)، Epipelon (روی سطح خاک)، Endopelon (درون رسوبات آلی)، Endopsammon (درون یا روی رسوبات شنی) می‌باشند (Poulíčková et al., 2008).

نقش واسطه‌ای پریفایتون به‌عنوان فاز سوم یعنی بین دو فاز: ۱-بستر خاک و ۲- لایه آب روی آن، امکان اثرگذاری قابل توجه، بر هر دو فاز یاد شده در محیط غرقاب را فراهم می‌کند (Gulzar et al., 2017). بنابراین پریفایتون که به عنوان یک مخزن موقت عمل

می‌کند می‌تواند با جذب بیش‌تر عنصر غذایی، فراهم سازی پایدار برای عناصری همچون نیتروژن، فسفر و پتاسیم ایجاد کند (Lu et al., 2017؛ Wu et al., 2016).

پتاسیم مورد نیاز گیاه که یکی از عناصر ضروری رشد گیاه می‌باشد، از طریق پتاسیم موجود در خاک و یا کودهای شیمیایی تأمین می‌شود. پتاسیم موجود در خاک به چهار شکل محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختاری وجود دارد که انتقال بین آن‌ها برگشت‌پذیر است. تعادل بین اشکال مختلف پتاسیم در خاک برقرار بوده و از این طریق منجر به تأمین پتاسیمِ گیاه می‌گردد. با وجود این‌که مقدار کل پتاسیم در بیش‌تر خاک‌ها عموماً زیاد است، فقط بخش کوچکی از آن به شکل محلول بوده و به آسانی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. کانی‌های سیلیکاتی مانند فلدسپار و میکا منابعی هستند که با هوادیدگی و تبادل کاتیونی باعث آزادسازی پتاسیم محلول به خاک می‌شوند (Basak et al., 2017؛ Manning et al., 2017). همچنین، ریزجانداران تجزیه‌کننده سیلیکات‌ها، با ترشح اسیدهای آلی و پلی‌ساکاریدها مستقیماً باعث انحلال کانی‌های پتاسیم‌دار از جمله میکاها، ایلایت و ارتوکلاز شده و یا با کلات کردن، سبب آزادشدن عناصری مثل پتاسیم، آهن، روی و سیلیسیم می‌شوند (Liu et al., 2012). مکانیسم تولید اسیدهای آلی با اسیدولیز و تبادل کمپلکس به عنوان فرآیند کلیدی انحلال اشکال نامحلول پتاسیم عمل می‌کند (Uroz et al., 2009). اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک، اسید تارتاریک، کتوگلوکونیک اسید، اگزالیک اسید، گلوکونیک اسید، مالیک اسید، پروپونیک اسید و فوماریک اسید که توسط میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند، می‌توانند باعث حل شدن فلدسپات و میکا شده در نتیجه پتاسیم به راحتی توسط گیاه جذب شود (Meena et al., 2016; Sparks, 1987). میکاها سیلیکات‌های لایه‌ای ۲:۱ هستند که از یک لایه اکتاهدرال که بین دو لایه تتراهدرال قرار گرفته‌اند تشکیل شده است. در موسکویت با فرمول شیمیایی ($KAl_2(OH)_2AlSi_3O_{10}$)، دو موقعیت از سه موقعیت اکتاهدرال توسط آلومینیوم اشغال شده ولی در فلوگوپیت با فرمول شیمیایی ($KMg_3(AlSi_3O_{10})(F,OH)_2$) یا بیوتیت، هر سه موقعیت به وسیله منیزیم یا آهن اشغال شده و پتاسیم در بین لایه‌ها قرار گرفته است (Tisdale et al., 1985). در مورد آزاد شدن پتاسیم بین لایه‌ای گزارش شده است که در میکای تری اکتاهدرال، پتاسیم بین لایه‌ای سریع‌تر از میکای دی اکتاهدرال آزاد می‌شود به همین دلیل انحلال فلوگوپیت بیش‌تر از موسکویت می‌باشد (Shu-Xin et al., 2007). در موسکویت که یک میکای دی اکتاهدرال است، خالی بودن یک موقعیت از سه موقعیت اکتاهدرال باعث می‌شود پتاسیم بیش‌تر تحت تأثیر میدان الکتریکی مربوط به یون هیدروکسیل قرار گیرد و در نتیجه آزادسازی بین لایه‌ای در آن نسبت به میکای تری اکتاهدرال مشکل‌تر شود (خیامیم و همکاران، ۱۳۸۸).

پریفایتون‌ها به عنوان جامعه میکروبی پیچیده، دارای باکتری‌ها و قارچ‌های متنوع و توانمند در انحلال سیلیکات‌ها در ساختار خود هستند. از این میان، قارچ‌ها به دلیل توانایی ساخت متابولیت‌های کلاته کننده، اسیدهای آلی، هیف و توان ماندگاری بالاتر در برابر تنش‌های محیطی، بیش‌تر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Gaind, 2016). از میان تنوع بالای جوامع قارچی، برخی از جنس‌های شاخه Ascomycota، مانند *Aspergillus*، *Trichoderma* و *Alternaria*، نقش به‌سزایی در افزایش عملکرد و توان جذب عناصر غذایی داشته‌اند (آل‌طه و همکاران، ۱۳۹۷؛ Yuvaraj & Ramasamy, 2020 ؛ Zin & Badaluddin, 2020).

صادقی آزاد و همکاران در پژوهشی سویه‌های قارچی را از ریزوسفر گیاه ذرت جداسازی کردند. نتایج نشان از توان انحلال سیلیکات‌ها توسط قارچ‌ها بود و بیش‌ترین میزان آزادسازی پتاسیم به ترتیب از منابع بیوتیت، فلوگوپیت، ایلایت و موسکویت بود (صادقی آزاد و همکاران، ۱۳۹۷). از سوی دیگر باکتری‌های حل کننده پتاسیم می‌توانند کانی‌هایی مانند موسکویت، فلوگوپیت، بیوتیت و غیره که دارای پتاسیم در ساختار خود هستند را حل کرده و به شکل پتاسیم محلول و قابل جذب گیاه درآورند، بنابراین تولید و مدیریت کودهای زیستی دارای حل‌کننده‌های پتاسیم می‌توانند به عنوان مکملی مناسب در کنار کودهای شیمیایی باشند (Etesami et al., 2017).

با توجه به اینکه همواره کمبود عناصر غذایی ضروری گیاه در زمین‌های کشاورزی دیده می‌شود، شناخت راهکارهای موثر در بازیابی این عناصر برای نیل به باروری بالاتر گیاه ضروری است. در دو دهه گذشته، ریزجانداران سودمند خاک برای تأمین عناصر غذایی مورد

نیاز گیاه و در نتیجه بهبود کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (ساریخانی و همکاران، ۱۳۹۳).

با توجه به اینکه پژوهش درباره پریفایتون‌ها در ایران به تازگی آغاز شده، لزوم شناخت در زمینه تأثیر و عمکرد این جامعه میکروبی می‌تواند راهی به سوی کاهش مصرف کودهای شیمیایی باشد. چرا که ترکیب پیچیده جامعه میکروبی پریفایتون می‌تواند دارای گونه‌هایی باشد که قابل کشت و جداسازی نبوده یا دارای برهمکنش‌هایی باشد که پیش‌تر شناسایی نشده‌اند ولی در عملکرد این لایه زیستی بسیار مهم و تأثیرگذار باشند. بنابراین بررسی تأثیر کل این زیست‌لایه در زمینه انحلال پتاسیم که یکی از عناصر ضروری در رشد گیاه است، می‌تواند بسیار کارآمد و مفید باشد.

پیشینه پژوهش

Lu و همکاران (2017)، با شبیه سازی محیط شالیزاری در شرایط گلخانه‌ای به بررسی چگونگی تأثیر پریفایتون بر روی انتقال فسفر پرداختند. حضور پریفایتون باعث افزایش دسترسی زیستی P در خاک شالیزاری شد. پریفایتون شالیزار، فسفر را تا ۱/۴ میلی‌گرم در گرم غالباً به شکل Ca-P دریافت کرد که می‌تواند به عنوان یک پتانسیل برای استفاده به عنوان کود زیستی باشد. پریفایتون دارای فسفاتازهای قلیایی بالاتری نسبت به فسفاتاز اسیدی بوده و ظرفیت بسیار بالایی برای هیدرولیز فسفر آلی و فسفر غیر قابل دسترس دارد (Shujie et al., 2021). پریفایتون می‌تواند با تأثیر بر روی تثبیت نیتروژن، تصعید آمونیاک، نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون مدیریت شده در چرخه نیتروژن مؤثر باشد (Wu et al., 2016 و Lu et al., 2017). علاوه بر این ثابت شده است که در لایه‌های پریفایتونی تولید آنزیم‌های نیتروژناز (تثبیت نیتروژن مولکولی هوا) و فسفاتاز (تبدیل فسفر آلی به شکل معدنی قابل جذب) می‌توانند به ایجاد شرایط بهتر تغذیه‌ای خاک کمک کنند (Ellwood et al., 2012؛ Wu et al., 2018؛ Weigelhofer et al., 2018). در مطالعه بهشتی و همکاران گزارش شد که بایوفیلم‌های پریفایتیک و خاک ریزوسفری برنج یک مخزن بالقوه برای استخراج باکتری‌ها و قارچ‌های حل کننده فسفر هست و این میکرواورگانیسم‌ها می‌توانند به عنوان پتانسیل تلقیح میکروبی استفاده شوند تا در راستای کشت پایدار برنج موثر واقع شوند (Beheshti et al., 2021). در مطالعه‌ای دیگر که به بررسی تأثیر باکتری‌ها و قارچ‌های جداسازی شده از پریفایتون در انحلال پتاسیم پرداختند، نتایج نشان داد که جدایه‌های باکتریایی *Bacillus cereus* و *Acinetobacter calcoaceticus* و جدایه‌های قارچی *Penicillium mionioluteu* و *Talaromyces stipitatus* به ترتیب ۱۶۵/۱، ۴۴/۲، ۵۷/۲، ۹۳/۶ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم از منبع موسکویت آزاد کردند (علیخانی و همکاران، ۱۴۰۰).

پژوهش‌ها در زمینه کاربرد پریفایتون‌ها به‌ویژه در زمینه توان انحلال پتاسیم در ایران و دنیا بسیار کم است. به عنوان نمونه مطالعه‌ای توسط (پارسا و همکاران، ۱۴۰۰) انجام شد که به بررسی نقش میکروبیوم اپی‌پلون در انحلال موسکویت و بیوتیت پرداخته است. نتایج نشان داد که این جامعه میکروبی توان بالایی در انحلال پتاسیم نامحلول را دارد. در مطالعه‌ای دیگر (علی‌بخشی فر و همکاران، ۱۴۰۰) نشان دادند اپی‌فایتون‌های مختلف (پریفایتون‌های رشد یافته روی گیاه) توان انحلال پتاسیم متفاوتی داشتند و در این بین پتاسیم محلول در محیط کشت دارای بیوتیت بالاترین مقدار را به خود اختصاص داده و دارای اختلاف آماری معنی‌دار با تیمار کنترل بوده است. در کل پریفایتون نسبت به جلبک و ماکروفیت راحت‌تر کشت داده می‌شود و رشد می‌کند و همین عامل می‌تواند استفاده از آن به عنوان فناوری دارای پتانسیل بالا در بازیابی عناصر بهره گرفت (Lu et al., 2014).

روش‌شناسی پژوهش

آماده سازی اولیه نمونه‌های پریفایتونی

نمونه‌برداری برای انجام این تحقیق از استان گیلان انجام گرفت که سه شالیزار در روستاهای خاله سرا، گیله سرا، واجارگاه و یک زمین آیش در نزدیک ماسال (در مدت ۵ سال گذشته کشت انجام نشده بود) که در سه نقطه مختلف استان قرار داشتند، استفاده شد. موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری در جدول ۱ آمده است. نمونه‌های گرفته شده از شالیزارها شامل پریفایتون‌های سطح خاک (اپی‌پلون) و پریفایتون‌های معلق در آب متصل به جلبک‌های بزرگتر (اپی‌فایتون) و نمونه‌های گرفته شده از خاک آیش از سطح خاک و در سه تکرار

بود.

انتقال این نمونه‌ها به آزمایشگاه در جعبه یخ (دمای ۴°C) انجام و سپس در محیط کشت BBM[1] بازکشت شدند (جدول ۲).

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری

	نامگذاری در آنالیزها	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
شالیزار خاله‌سرا	P1, P2, P3, P4, P5, P6	۴۱۷۳۵۶۷	۳۲۲۳۲۵
شالیزار گیله سرا	P7, P8, P9, P10, P11, P12	۴۱۳۹۵۵۹	۳۳۳۵۶۷
شالیزار واجارگاه	P13, P14, P15, P16, P17, P18	۴۱۳۹۸۸۹	۳۳۳۶۰۳
زمین آیش ماسال	P19, P20, P21	۴۱۰۲۱۱۳	۴۴۷۸۷۴

جدول ۲. محیط کشت BBM (Bold 1949, Bischoff & Bold 1963)

اجزاء محیط کشت	غلظت در محلول مادری (گرم در لیتر آب مقطر)	اضافه کردن به یک لیتر محیط کشت (میلی‌لیتر)
$NaNO_3$	۲۵	۱۰
$MgSO_4.7H_2O$	۷/۵	۱۰
NaCl	۲/۵	۱۰
K_2HPO_4	۷/۵	۱۰
KH_2PO_4	۱۷/۵	۱۰
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	۰/۵	۱۰
NaEDTA	۵۰	۱
KOH	۳۱	۱
$FeSO_4.\ 7H_2O$	۴/۹۸	۱
H_3BO_3	۱۱/۴۲	۱
$ZnSO_4.7H_2O$	۰/۳۰۷ µM	۱
$MnCl_2.4H2O$	۷/۲۸ µM	۱
MoO_3	۴/۹۳ µM	۱
$CuSO_4.5H2O$	۶/۲۹ µM	۱
$Co(NO_3)_2.6H_2O$	۱/۶۸ µM	۱

تیمارهای مربوط به شالیزارها که دارای اعداد زوج هستند برای نشان دادن اپی‌پلون‌ها و تیمارهای شالیزارها که دارای اعداد فرد هستند برای نشان دادن پریفایتون‌های معلق در آب (اپی‌فایتون‌ها) استفاده شده است.

تهیه و آماده‌سازی کانی‌های میکایی

کانی‌های خالص میکای فلوگوپیت و مو سکویت به ترتیب از شرکت آذر طلق اردبیلی و شرکت تو سعه معادن و مواد معدنی آ سیا تهیه شد. کانی‌ها پودر شده و از الک ۶۰ میکرومتر (۲۳۰ مش) عبور داده شدند. جهت آماده‌سازی کانی‌ها برای استفاده در محیط کشت، ابتدا کانی‌ها با ا ستفاده از ا سید کلریدریک ۰/۱ مولار ا سیدواش شدند تا پتا سیم محلول و قابل د سترس از ساختار کانی خارج شده و سپس شستشو با آب انجام شد. در نهایت کانی‌ها در دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک شدند تا آماده استفاده در محیط کشت باشند (Sarikhani, 2016).

[1] Bold's Basal Medium

ارزیابی کمی آزادسازی پتاسیم

لازم به ذکر ا ست با توجه به این نکته که ت ست کیفی انحلال پتا سیم به صورت ک شت نقطه‌ای انجام می شود، انجام آن برای جوامع پریفایتونی، با توجه به رشـــد غیرقابل پیش بینی باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها در پلیت‌های مختلف قابل انجام نبود. لذا پریفایتون‌ها به صورت مستقیم در آزمون کمی بررسی شدند. برای بررسی کمی انحلال پتاسیم توسط پریفایتون‌ها از محیط کشت BBM اصلاح شده بدون منبع پتا سیمی قابل د سترس و دارای میکای مو سکویت و فلوگوپیت ا ستفاده شد (Lu et al., 2016). بدین صورت که در ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت حاوی ۲/۵ گرم در لیتر کانی موسکویت/ فلوگوپیت، ۱۰ میلی‌لیتر پریفایتون مایه‌زنی شده و در شرایط کنترل شده اتاق رشد در دمای ۲۸-۳۰ درجه سلسیوس، روشنایی ۵۰۰۰ لوکس، طول روشنایی و خاموشی ۱۲/۱۲ ساعت و هوادهی روزانه (Lu et al., 2016) به صـورت تکان‌های دسـتی انجام گرفت. در این آزمایش که به مدت سـه هفته به طول انجامید، نمونه‌گیری در بازه‌های زمانی ۷ روزه انجام گرفت و پارامترهای pH ،EC و K محلول پس از صاف کردن با کاغذ صافی توسط فلیم فتومتر (Jenway PFP7) اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است pH اولیه محیط کشت BBM در حالت عادی برابر با ۶ بوده ولی در محیط کشت اصلاح شده حاوی موسکویت به ۶/۸ و در محیط کشت دارای فلوگوپیت به ۶/۹ افزایش یافت.

طرح آماری

آزمون فوق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با در نظر گرفتن سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل: ۱- تیمارهای مایه‌زنی شده با پریفایتون در ۲۲ سطح (۹ اپی‌پلون، ۹ اپی‌فایتون، سه نمونه خاک آیش و شاهد)، ۲- فاکتور کانی در دو سطح موسکویت و فلوگوپیت و ۳- فاکتور زمان نمونه‌برداری در چهار سطح ۰، ۷، ۱۴ و ۲۱ بود. تجزیه و و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

یافته‌های پژوهش

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر ساده پریفایتون، اثر ساده زمان، اثر دوگانه پریفایتون× کانی، اثر دوگانه پریفایتون× زمان و اثر سه گانه پریفایتون× کانی× زمان بر روی تمام پارامترهای مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر ساده کانی نیز به غیر از صفت pH در بقیه صفات معنی‌دار شد. اثر دوگانه کانی× زمان نیز به غیر از پتاسیم محلول در بقیه پارامترهای مورد اندازه‌گیری معنی‌دار شد.

جدول۳. جدول تجزیه واریانس صفات مورد بررسی

		میانگین مربعات		
منابع تغییرات	درجه آزادی	EC	pH	K
پریفایتون	۲۱	۱۸۹۷۴/۵۲**	۱۱/۲۳**	۴۰/۸۵**
کانی	۱	۲۷۹۰۵/۴۶**	۰/۰۰۰۵۲ns	۲/۲۹**
زمان	۳	۶۵۲۰۲/۴۸**	۱۲۹/۸۵**	۲۱۷۶/۶۸**
پریفایتون ×کانی	۲۱	۱۲۸۰/۷۹**	۰/۱۶**	۱/۸۴**
پریفایتون × زمان	۶۳	۳۰۱۵/۶۸**	۱/۵۷**	۴/۹۷**
کانی × زمان	۳	۲۶۳۹/۹۰**	۰/۰۶**	۰/۴۱ns
پریفایتون × کانی × زمان	۶۳	۳۹۲/۳۸**	۰/۰۵**	۰/۵۳**
خطای آزمایشی	۳۵۲	۱۱۷/۰۳	۰/۰۱۵	۰/۱۷
ضریب تغییرات (درصد)		۱/۸۷	۱/۴۵	۴/۱۹

**معنی‌دار در سطح ۱٪، ns غیرمعنی‌دار

مقایسه میانگین اثر ساده پریفایتون بر روی پارامترهای مورد بررسی

با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۴)، اثر ساده پریفایتون باعث کاهش EC در تمام تیمارهای تلقیح شده با پریفایتون شده است.

به طوری‌که بالاترین میزان EC مربوط به تیمار شاهد بوده و تمام تیمارهای پریفایتونی دارای اختلاف آماری معنی‌دار با شاهد هستند بیش‌ترین میزان کاهش EC، مربوط به پریفایتون شماره ۱۲ و ۱۶ می‌باشد. در مورد اثر ساده پریفایتون روی pH همان‌طور که از نتایج مقایسه میانگین دیده می‌شود، باعث افزایش pH شده است. تمام تیمارها با شاهد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بودند و بالاترین میزان pH در تیمارهای پریفایتونی شماره ۳ و ۷ به میزان ۹/۱۱ بوده که نسبت به شاهد افزایش ۵۸ درصدی را نشان می‌دهد. اثر ساده پریفایتون بر روی میزان پتاسیم محلول نشان دهنده این مسأله است که تمام پریفایتون‌های مورد آزمایش نسبت به شاهد توان بالایی در انحلال پتاسیم داشتند به طوری‌که بیش‌ترین میزان پتاسیم محلول در تیمارهای ۱۵ و ۱۷ (اپی‌فایتون‌های شالیزار واجارگاه) به ترتیب به میزان ۱۱/۴۸ و ۱۱/۳۸ میلی‌گرم بر لیتر بوده و افزایش ۲/۲ برابری نسبت به شاهد داشته است. کمترین میزان انحلال نیز در تیمار ۲۱ بوده که با افزایش ۸۳ درصدی نسبت به شاهد، دارای اختلاف آماری معنی‌دار نسبت به آن بود. پریفایتون‌های دارای کدهای فرد که مربوط به نمونه‌های اپی‌فایتون هستند، توان بالاتری در افزایش انحلال پتاسیم نسبت به نمونه‌های اپی‌پلون داشتند که با اعداد زوج کدگذاری شده‌اند. لازم به ذکر است نمونه‌های شماره ۱۹، ۲۰ و ۲۱ نسبت به بقیه تیمارها پتاسیم محلول کمتری داشتند که مربوط به نمونه‌های خاک آیش می‌باشد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات ساده پریفایتون بر روی پارامترهای مورد مطالعه

پریفایتون	EC	pH	K
$p_{control}$	۶۳۲/۴۴^{a}	۵/۷۴^{n}	۵/۰۸^{l}
p_1	۶۰۴/۴۴^{c}	۷/۷۴^{m}	۱۱/۱۵^{bc}
p_2	۵۵۶/۱۹^{ghi}	۷/۸۸^{l}	۹/۶۵^{ij}
p_3	۶۰۵/۰۶^{c}	۹/۱۱^{a}	۱۰/۴۸^{fg}
p_4	۵۵۹/۵^{gh}	۸/۴۲^{gh}	۹/۹۴^{h}
p_5	۵۹۸/۰۰^{de}	۸/۹۴^{b}	۱۰/۶۸^{ef}
p_6	۵۶۰/۱۳^{gh}	۸/۵۳^{e}	۹/۷۶^{hi}
p_7	۶۱۶/۸۸^{b}	۹/۱۱^{a}	۱۰/۷۱^{ef}
p_8	۵۵۴/۴۴^{hi}	۸/۹۱^{b}	۹/۵۲^{ij}
p_9	۵۹۲/۳۱^{e}	۸/۶۶^{cd}	۱۰/۹۶^{cd}
p_{10}	۵۳۸/۱۹^{k}	۸/۴۵^{fg}	۹/۴۵^{jk}
p_{11}	۵۹۲/۹۴^{e}	۸/۴۳^{g}	۱۱/۰۲^{cd}
p_{12}	۵۴۷/۶۹^{j}	۸/۳۲^{ij}	۹/۵۳^{ijk}
p_{13}	۶۰۳/۲۵^{cd}	۸/۰۳^{k}	۱۰/۸۷^{de}
p_{14}	۵۶۵/۲۵^{fg}	۸/۰۷^{k}	۱۰/۳۰^{g}
p_{15}	۶۱۴/۱۳^{b}	۸/۶۱^{d}	۱۱/۴۸^{a}
p_{16}	۵۴۵/۵۰^{j}	۸/۵۴^{e}	۹/۹۳^{h}
p_{17}	۶۰۵/۳۱^{c}	۸/۷۰^{c}	۱۱/۳۸^{ab}
p_{18}	۵۷۱/۰۶^{f}	۸/۲۸^{j}	۱۰/۵۵^{f}
p_{19}	۵۵۱/۱۹^{ij}	۸/۳۳^{ij}	۹/۴۳^{jk}
p_{20}	۵۶۲/۶۳^{g}	۸/۵۱^{cf}	۹/۵۷^{ij}
p_{21}	۵۵۰/۳۱^{ij}	۸/۳۶^{hi}	۹/۳۰^{k}

حروف نشان‌دهنده سطوح معنی‌داری است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت در بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ است.

مقایسه میانگین اثر ساده کانی بر روی پارامترهای مورد بررسی

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده کانی (جدول ۵) بر روی صفات مورد بررسی نشان می‌دهد میزان انحلال پتاسیم در تیمار فلوگوپیتی و میزان EC در تیمار موسکویتی مقادیر بالاتری داشتند. طبق جدول تجزیه واریانس تأثیر این فاکتور بر روی pH معنی‌دار نبوده است.

ویرایشی نشده

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر ساده کانی مورد استفاده بر روی پارامترهای مورد مطالعه

کانی	EC	K
موسکویت (m_1)	۵۸۵/۷۶^{a}	۹/۹۷^{b}
فلوگوپیت (m_2)	۵۷۱/۲۲^{b}	۱۰/۱۰^{a}

حروف نشان‌دهنده سطوح معنی‌داری است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت در بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ است.

مقایسه میانگین اثر ساده زمان بر روی پارامترهای مورد بررسی

مقایسه میانگین اثر ساده زمان (جدول ۶) نشان می‌دهد که با گذر زمان میزان EC کاهش و میزان pH افزایش یافته است. در مورد پتاسیم محلول نیز روند به‌صورت ۲۱ > ۷ > ۱۴ > ۰ بود.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثرات ساده زمان نمونه‌برداری بر روی پارامترهای مورد مطالعه

زمان نمونه‌برداری	EC	pH	K
(t_1) ۰	۶۰۵/۷۵^{a}	۶/۸۸^{d}	۳/۹۵^{d}
(t_2) ۷	۵۸۶/۱۷^{b}	۸/۶۲^{c}	۱۲/۰۷^{b}
(t_3) ۱۴	۵۶۶/۹۲^{c}	۸/۸۷^{b}	۱۱/۹۰^{c}
(t_4) ۲۱	۵۵۵/۱۳^{d}	۹/۰۱^{a}	۱۲/۲۶^{a}

حروف نشان‌دهنده سطوح معنی‌داری است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت در بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ است.

مقایسه میانگین اثر دوگانه پریفایتون و کانی بر روی پارامترهای مورد بررسی

با توجه به جدول ۷ بالاترین میزان EC در تیمارهای شاهد دارای فلوگوپیت و پریفایتون شماره ۷ دارای موسکویت دیده شد. در بیش‌تر تیمارها، نمونه‌های دارای موسکویت EC بالاتری نسبت به نمونه‌های فلوگوپیتی داشتند. در مورد اثر پریفایتون و کانی روی pH، شاهد کمترین میزان pH را داشت و تمام تیمارها دارای اختلاف آمای معنی‌دار با شاهد بودند. بیش‌ترین میزان pH در تیمارهای پریفایتون دارای موسکویت با شماره ۳ و ۷ ثبت گردید. نتایج پتاسیم محلول نشان می‌دهد کمترین میزان K مربوط به شاهد بوده و تمام تیمارهای آزمایشی دارای اختلاف آماری معنی‌دار با شاهد هستند. بیش‌ترین مقدار پتاسیم در پریفایتون شماره ۱۵ به میزان ۱۱/۴۸ میلی‌گرم بر لیتر (در هر دو نمونه موسکویتی و فلوگوپیتی) و سپس پریفایتون‌های شماره ۱۷ و ۱ مشاهده شد. نمونه شاهد دارای فلوگوپیت دارای میزان پتاسیم محلول بالاتر نسبت به نمونه موسکویتی بود اما در تیمارهای تلقیح شده با پریفایتون بین نمونه‌های موسکویتی و فلوگوپیتی اختلاف آماری معنی‌دار وجود نداشت.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر دوگانه پریفایتون وکانی مورد استفاده بر روی پارامترهای مورد مطالعه

پریفایتون در کانی	EC	pH	K
$p_{control}$ m_1	۶۲۲/۳۸^{b}	۵/۷۲^{t}	۳/۸۴^{v}
$p_{control}$ m_2	۶۴۲/۵^{a}	۵/۷۶^{t}	۶/۳۳^{u}
p_1 m_1	۶۱۵/۰۰^{bc}	۷/۸۱^{r}	۱۱/۱۳^{bcd}
p_1 m_2	۵۹۳/۸۷^{fgh}	۷/۶۷^{s}	۱۱/۱۸$^{a-d}$
p_2 m_1	۵۶۳/۷۵^{mno}	۷/۸۳^{r}	۹/۶۹^{nop}
p_2 m_2	۵۴۸/۶۲^{stu}	۷/۸۸^{r}	۹/۶۰$^{o-s}$
p_3 m_1	۶۲۱/۰۰^{b}	۹/۱۷^{a}	۱۰/۵۱^{hij}
p_3 m_2	۵۸۹/۱۲^{hi}	۹/۰۴^{bc}	۱۰/۴۵^{hij}

$p_4\ m_1$	۵۶۳/۸۷^{mn}	۸/۲۵^{o}	۱۰/۰۱^{lmn}
$p_4\ m_2$	۵۵۵/۱۲$^{o-s}$	۸/۵۸^{fg}	۹/۸۶^{mno}
$p_5\ m_1$	۶۲۱/۶۲^{b}	۹/۱۳^{ab}	۱۰/۵۹^{ghi}
$p_5\ m_2$	۵۷۴/۳۷^{kl}	۸/۷۶^{e}	۱۰/۷۷$^{e-h}$
$p_6\ m_1$	۵۵۸/۲۵$^{n-q}$	۸/۵^{ghi}	۹/۸۲^{mno}
$p_6\ m_2$	۵۶۲/۰۰^{mno}	۸/۵۸^{gh}	۹/۷۰^{nop}
$p_7\ m_1$	۶۳۴/۱۲^{a}	۹/۲۲^{a}	۱۰/۷۵$^{e-h}$
$p_7\ m_2$	۵۹۹/۶۳^{efg}	۹/۰۰^{c}	۱۰/۶۷$^{f-i}$
$p_8\ m_1$	۵۵۸/۰۰$^{n-r}$	۸/۸۵^{d}	۹/۵۷$^{o-t}$
$p_8\ m_2$	۵۵۰/۸۸$^{q-u}$	۸/۹۸^{c}	۹/۶۱$^{o-s}$
$p_9\ m_1$	۶۰۵/۷۵^{de}	۸/۶۷^{ef}	۱۱/۰۰^{def}
$p_9\ m_2$	۵۷۸/۸۸^{jk}	۸/۶۶^{ef}	۱۰/۹۱$^{d-g}$
$p_{10}\ m_1$	۵۴۴/۷۵^{tuv}	۸/۳۵^{lmn}	۹/۲۹^{rst}
$p_{10}\ m_2$	۵۳۱/۶۲^{w}	۸/۵۵^{gh}	۹/۶۱$^{o-r}$
$p_{11}\ m_1$	۶۰۱/۷۵^{def}	۸/۴۷$^{h-k}$	۱۰/۹۹^{def}
$p_{11}\ m_2$	۵۸۴/۱۳^{ij}	۸/۳۹^{klm}	۱۱/۰۶^{cde}
$p_{12}\ m_1$	۵۴۹/۵۰$^{r-u}$	۸/۲۵^{o}	۹/۴۲$^{p-t}$
$p_{12}\ m_2$	۵۴۵/۸۸^{tuv}	۸/۳۹^{klm}	۹/۶۵^{opq}
$p_{13}\ m_1$	۶۰۹/۶۲^{cd}	۸/۰۱^{q}	۱۰/۷۷$^{e-h}$
$p_{13}\ m_2$	۵۹۶/۸۷^{fgh}	۸/۰۵^{pq}	۱۰/۹۷^{def}
$p_{14}\ m_1$	۵۹۶/۶۲^{lm}	۸/۰۶^{pq}	۱۰/۲۴^{jkl}
$p_{14}\ m_2$	۵۶۰/۸۷^{nop}	۸/۰۸^{pq}	۱۰/۳۶^{ijk}
$p_{15}\ m_1$	۶۲۰/۲۵^{b}	۸/۷۴^{e}	۱۱/۴۸^{a}
$p_{15}\ m_2$	۶۰۸/۰۰^{cde}	۸/۴۷^{hij}	۱۱/۴۸^{a}
$p_{16}\ m_1$	۵۵۲/۳۸$^{p-t}$	۸/۵۵^{gh}	۱۰/۰۴^{klm}
$p_{16}\ m_2$	۵۳۸/۶۲^{vw}	۸/۵۲^{gh}	۱۰/۸۳^{mno}
$p_{17}\ m_1$	۶۱۸/۳۸^{b}	۸/۶۹^{e}	۱۱/۴۰^{ab}
$p_{17}\ m_2$	۵۹۲/۲۵^{ghi}	۸/۷۱^{e}	۱۱/۳۷^{abc}
$p_{18}\ m_1$	۵۸۴/۳۸^{ij}	۸/۱۴^{p}	۱۰/۷۲$^{e-h}$
$p_{18}\ m_2$	۵۵۷/۷۵$^{n-r}$	۸/۴۱$^{i-l}$	۱۰/۳۸^{ij}
$p_{19}\ m_1$	۵۴۹/۵۰$^{r-u}$	۸/۳۷$^{k-n}$	۹/۲۵^{t}
$p_{19}\ m_2$	۵۵۲/۸۸$^{p-t}$	۸/۲۵^{no}	۹/۶۲$^{o-r}$
$p_{20}\ m_1$	۵۶۴/۵^{mn}	۸/۵۱^{gh}	۹/۵۶$^{o-t}$
$p_{20}\ m_2$	۵۶۰/۷۵^{nop}	۸/۵۱^{gh}	۹/۵۸$^{q-t}$
$p_{21}\ m_1$	۵۵۸/۳۸$^{n-q}$	۸/۳۲^{mno}	۹/۳۲$^{q-t}$
$p_{21}\ m_2$	۵۴۲/۲۵^{uv}	۸/۴۰$^{j-m}$	۹/۲۸st

حروف نشان‌دهنده سطوح معنی‌داری است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت در بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ است.

مقایسه میانگین اثر دوگانه پریفایتون و زمان بر روی پارامترهای مورد بررسی

بیش‌ترین میزان EC در طول آزمایش مربوط به تیمار شاهد در روز ۲۱ بود که با تمام تیمارها دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود و در مرتبه بعدی تیمار شاهد و پریفایتون ۱۵ در روز ۷ قرار گرفت. بالاترین میزان pH در تیمار p_3t_3 بود که دارای اختلاف آماری معنی‌دار با بقیه تیمارها می‌باشد. در کل کمترین میزان pH مربوط به شاهد بوده و در اکثر تیمارها روند تقریبی افزایش pH در طول زمان دیده شد. پتاسیم محلول در روز صفر نمونه‌برداری برای تمام تیمارها و شاهد برابر بود. تمام تیمارها به جز در روز صفر دارای اختلاف آماری معنی‌دار

با شاهد بودند و بالاترین میزان پتاسیم محلول به ترتیب مربوط به تیمارهای ۱۵ و ۱۷ بود که در هر دو پریفایتون، روز ۲۱ بیش‌ترین میزان پتاسیم را داشتند.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر دوگانه پریفایتون و زمان نمونه‌برداری بر روی پارامترهای مورد مطالعه

پریفایتون در زمان	EC	pH	K
$p_{control}\ t_1$	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
$p_{control}\ t_2$	۶۲۳/۵^{b}	۵/۲۴^{kk}	۳/۹۵^{ff}
$p_{control}\ t_3$	۶۲۹/۰۰^{bc}	۵/۴۰^{ij}	۶/۰۵^{ee}
$p_{control}\ t_4$	۶۶۱/۵^{a}	۵/۴۴^{ij}	۶/۳۸^{ee}
$p_1\ t_1$	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
$p_1\ t_2$	۶۲۲/۰۰$^{b-e}$	۷/۳۹^{hh}	۱۳/۶۵$^{b-g}$
$p_1\ t_3$	۶۰۰/۵$^{h-k}$	۷/۹۲^{ff}	۱۳/۴۹$^{c-h}$
$p_1\ t_4$	۵۸۹/۵^{klm}	۸/۷۶$^{t-w}$	۱۳/۵۲$^{c-h}$
$p_2\ t_1$	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
$p_2\ t_2$	۵۷۰/۲۵^{op}	۷/۵۶^{gg}	۱۱/۸۷$^{t-y}$
$p_2\ t_3$	۵۳۴/۷۵$^{u-z}$	۸/۲۹$^{cc-ee}$	۱۱/۵۰$^{w-bb}$
$p_2\ t_4$	۵۱۴$^{ee-ff}$	۸/۷۰^{vwx}	۱۱/۲۷$^{z-dd}$
$p_3\ t_1$	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
$p_3\ t_2$	۶۱۸/۰۰$^{c-f}$	۹/۵۶^{c}	۱۲/۷۰$^{m-q}$
$p_3\ t_3$	۶۰۷/۵$^{f-i}$	۱۰/۱۲^{a}	۱۲/۳۹$^{o-s}$
$p_3\ t_4$	۵۸۹/۰۰^{klm}	۹/۸۶^{b}	۱۲/۸۶$^{j-r}$
$p_4\ t_1$	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
$p_4\ t_2$	۵۸۳/۲۵^{lmn}	۸/۹۶$^{o-s}$	۱۲/۰۷$^{r-v}$
$p_4\ t_3$	۵۳۷/۵$^{u-y}$	۸/۵۱$^{y-bb}$	۱۱/۵۶$^{w-aa}$
$p_4\ t_4$	۵۱۱/۵$^{dd-ff}$	۹/۳۳^{ef}	۱۲/۱۶$^{r-u}$
$p_5\ t_1$	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
$p_5\ t_2$	۶۰۲/۵$^{g-j}$	۹/۴۵^{cde}	۱۲/۸۶$^{j-o}$
$p_5\ t_3$	۶۰۸/۷۵$^{f-i}$	۹/۸۷^{b}	۱۲/۶۷$^{m-q}$
$p_5\ t_4$	۵۷۵/۰۰^{nop}	۹/۵۸^{c}	۱۳/۲۵$^{f-k}$
$p_6\ t_1$	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
$p_6\ t_2$	۵۶۶/۷۵^{pqr}	۸/۵۵^{yzaa}	۱۱/۶۹$^{u-z}$
$p_6\ t_3$	۵۴۳/۷۵$^{t-w}$	۹/۱۳$^{i-m}$	۱۱/۴۷$^{w-cc}$
$p_6\ t_4$	۵۲۴/۲۵$^{z-cc}$	۹/۵۶^{c}	۱۱/۹۲$^{s-w}$
$p_7\ t_1$	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
$p_7\ t_2$	۶۲۸/۰۰^{bc}	۹/۴۴^{cde}	۱۲/۹۸$^{i-n}$
$p_7\ t_3$	۶۲۸/۵^{bc}	۱۰/۱۴^{a}	۱۲/۷۷$^{k-p}$
$p_7\ t_4$	۶۰۵/۲۵$^{g-j}$	۹/۹۷^{b}	۱۳/۱۴$^{h-m}$
$p_8\ t_1$	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
$p_8\ t_2$	۵۵۶/۷۵^{qrs}	۹/۴۵^{cde}	۱۱/۵۶$^{w-aa}$
$p_8\ t_3$	۵۴۴/۲۵$^{t-w}$	۹/۸۷^{b}	۱۱/۲۵$^{z-dd}$
$p_8\ t_4$	۵۱۱/۰۰$^{dd-ff}$	۹/۴۴^{cde}	۱۱/۵۹$^{w-z}$
$p_9\ t_1$	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
$p_9\ t_2$	۵۹۷/۰۰^{ijk}	۹/۱۶$^{h-m}$	۱۳/۲۷$^{f-i}$
$p_9\ t_3$	۵۹۸/۵$^{h-k}$	۹/۵۲^{c}	۱۳/۰۹$^{h-m}$
$p_9\ t_4$	۵۶۸/۰۰^{pq}	۹/۰۵$^{k-o}$	۱۳/۵۱$^{c-h}$

ویرایشاری نشده

p_{10} t_1	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
p_{10} t_2	۵۴۶/۲۵^{stu}	۸/۸۷$^{r-u}$	۱۱/۴۳$^{x-cc}$
p_{10} t_3	۵۰۹/۰۰^{eeff}	۹/۲۴$^{f-j}$	۱۱/۰۲^{ccdd}
p_{10} t_4	۴۹۱/۷۵^{gg}	۸/۸۴$^{r-u}$	۱۱/۴۲$^{y-cc}$
p_{11} t_1	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
p_{11} t_2	۵۹۴/۰۰^{jkl}	۸/۶۵^{wxy}	۱۳/۳۱$^{d-j}$
p_{11} t_3	۶۰۳/۷۵$^{g-j}$	۹/۳۶def	۱۳/۱۹$^{g-l}$
p_{11} t_4	۵۶۸/۲۵^{pq}	۸/۸۳$^{s-v}$	۱۳/۶۴$^{b-g}$
p_{12} t_1	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
p_{12} t_2	۵۴۲/۲۵$^{u-x}$	۸/۵۹^{xyz}	۱۱/۵۰$^{w-bb}$
p_{12} t_3	۵۳۳/۵$^{w-aa}$	۹/۰۷$^{k-o}$	۱۱/۳۱$^{z-cc}$
p_{12} t_4	۵۰۹/۲۵^{eeff}	۸/۷۶$^{t-w}$	۱۱/۳۷$^{z-cc}$
p_{13} t_1	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
p_{13} t_2	۶۲۴/۲۵^{bcd}	۸/۲۸^{ddee}	۱۳/۰۷$^{h-m}$
p_{13} t_3	۶۰۰/۵$^{h-k}$	۸/۵۴^{yzaa}	۱۳/۰۷^{hij}
p_{13} t_4	۵۸۲/۵$^{l-o}$	۸/۴۵$^{aa-cc}$	۱۳/۳۸$^{d-i}$
p_{14} t_1	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
p_{14} t_2	۵۸۱/۲۵^{mno}	۸/۲۷^{ddee}	۱۲/۵۲$^{n-r}$
p_{14} t_3	۵۴۵/۰۰$^{s-v}$	۸/۷۲$^{u-x}$	۱۲/۳۱$^{p-t}$
p_{14} t_4	۵۲۹/۰۰$^{y-bb}$	۸/۴۰$^{bb-dd}$	۱۲/۴۳$^{o-r}$
p_{15} t_1	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
p_{15} t_2	۶۳۲/۵^{b}	۸/۷۰^{vwx}	۱۳/۷۸^{bcd}
p_{15} t_3	۶۱۳/۵$^{d-g}$	۹/۵۶^{c}	۱۳/۹۰^{abc}
p_{15} t_4	۶۰۴/۷۵$^{g-j}$	۹/۲۹^{fgh}	۱۴/۲۹^{a}
p_{16} t_1	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
p_{16} t_2	۵۵۴/۵^{rst}	۹/۱۳$^{i-m}$	۱۱/۹۱$^{t-x}$
p_{16} t_3	۵۰۲/۰۰^{ffgg}	۹/۰۳$^{l-p}$	۱۱/۶۶$^{v-z}$
p_{16} t_4	۵۱۹/۷۵$^{bb-ee}$	۹/۱۱$^{j-n}$	۱۲/۲۳$^{q-t}$
p_{17} t_1	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
p_{17} t_2	۶۰۶/۵$^{f-i}$	۹/۱۹$^{g-k}$	۱۳/۷۷$^{b-e}$
p_{17} t_3	۶۰۹/۷۵$^{e-h}$	۹/۴۷^{cd}	۱۳/۷۰$^{b-f}$
p_{17} t_4	۵۹۹/۲۵$^{h-k}$	۹/۲۶$^{f-i}$	۱۴/۱۰^{ab}
p_{18} t_1	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
p_{18} t_2	۵۷۳/۲۵^{nop}	۹/۰۰$^{m-p}$	۱۲/۷۳^{klop}
p_{18} t_3	۵۲۲/۰۰$^{aa-dd}$	۹/۹۷$^{n-r}$	۱۲/۲۴$^{q-t}$
p_{18} t_4	۵۸۳/۲۵^{lmn}	۸/۲۵^{ee}	۱۳/۳۰$^{e-n}$
p_{19} t_1	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
$p_{19}t_2$	۵۵۳/۷۵st	۸/۷۰^{vwx}	۱۱/۴۹$^{w-cc}$
p_{19} t_3	۵۳۱/۰۰$^{y-bb}$	۸/۹۱$^{p-s}$	۱۱/۰۶^{ccdd}
p_{19} t_4	۵۱۴/۲۵$^{cc-ff}$	۸/۸۳$^{r-v}$	۱۱/۲۳$^{z-dd}$
p_{20} t_1	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
p_{20} t_2	۵۶۸/۰۰^{pq}	۸/۸۶$^{q-t}$	۱۱/۴۹$^{w-cc}$
p_{20} t_3	۵۲۹/۷۵^{stu}	۹/۳۳^{efg}	۱۱/۳۱$^{z-cc}$
p_{20} t_4	۵۲۹/۷۵$^{y-bb}$	۹/۰۰$^{m-q}$	۱۱/۵۱$^{w-bb}$
p_{21} t_1	۶۰۵/۷۵$^{f-j}$	۶/۸۸^{ii}	۳/۹۵^{ff}
p_{21} t_2	۵۴۱/۲۵$^{u-y}$	۸/۷۵$^{t-w}$	۱۱/۱۰$^{aa-dd}$

ویرایشگاری نشده

p_{21} t_3	۵۲۲/۲۵$^{aa-dd}$	۹/۲۵$^{f-i}$	۱۰/۸۱^{dd}
p_{21} t_4	۵۳۲/۰۰$^{w-bb}$	۸/۵۵y^{zaa}	۱۱/۳۴$^{z-cc}$

حروف نشان‌دهنده سطوح معنی‌داری است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت در بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ است.
حروف‌گذاری به ترتیب حروف a-z و سپس aa-zz انجام شده است.

مقایسه میانگین اثر دوگانه کانی و زمان بر روی پارامترهای مورد بررسی

بیش‌ترین میزان EC مربوط به زمان نمونه‌برداری صفر و کانی موسکویت بود. در هر دو کانی موسکویت و فلوگوپیت بیش‌ترین EC مربوط به t_1 و کمترین EC مربوط به t_4 بود. بیش‌ترین میزان pH نیز مربوط به زمان نمونه‌برداری t_3 در موسکویت بود. در هر دو کانی موسکویت و فلوگوپیت بیش‌ترین pH مربوط به t_3 و کمترین pH مربوط به t_1 بود (جدول ۹).

جدول ۹. مقایسه میانگین اثر دوگانه کانی مورد استفاده و زمان نمونه‌برداری بر روی پارامترهای مورد مطالعه

کانی در زمان	EC	pH
m_1 t_1	۶۱۹/۵^{a}	۶/۸۶^{e}
m_1 t_2	۵۹۱/۹۱^{b}	۸/۶۲^{d}
m_1 t_3	۵۷۳/۰۲^{d}	۹/۰۴^{a}
m_1 t_4	۵۵۸/۶۱^{e}	۸/۸۶^{c}
m_2 t_1	۵۹۲/۰۰^{b}	۶/۹^{e}
m_2 t_2	۵۸۰/۴۳^{c}	۸/۶۳^{d}
m_2 t_3	۵۶۰/۸۲^{e}	۸/۹۸^{b}
m_2 t_4	۵۵۱/۶۴^{f}	۸/۸۹^{c}

حروف نشان‌دهنده سطوح معنی‌داری است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت در بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ است.

مقایسه میانگین اثر سه گانه پریفایتون، کانی و زمان بر روی پارامترهای مورد بررسی

با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول تکمیلی ۱)، نتایج EC نشان داد بیش‌ترین مقدار مربوط به تیمار کنترل دارای فلوگوپیت در روز ۲۱ بود که با تمام تیمارها دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود. در تمام تیمارها کمترین میزان EC مربوط به روزهای نمونه‌برداری ۱۴ و ۲۱ بود. به عبارتی در کل به غیر از شاهد که هم در تیمار موسکویتی و هم در تیمار فلوگوپیتی روند کلی افزایشی بوده است، در بقیه تیمارها با گذشت زمان، کاهش EC اتفاق افتاده است. بالاترین مقادیر pH اندازه‌گیری شده در نمونه‌های موسکویتی پریفایتون‌های ۷، ۳، ۵ در روز چهارده ثبت شد. کمترین مقادیر اندازه‌گیری شده نیز مربوط به شاهدهای موسکویتی و فلوگوپیتی بود که با pH نمونه‌های پریفایتونی (موسکویتی و فلوگوپیتی) در روز اول نمونه‌برداری مشابه هستند. به غیر از شاهد که در طول روزهای نمونه‌برداری با کاهش نسبی مواجه شده در تمام تیمارها در طول آزمایش pH روند افزایشی داشته است. بالاترین میزان پتاسیم محلول در تیمار $p_{15}m_1t_4$ (۱۴/۳۳ میلی‌گرم بر لیتر) ثبت شد و افزایش ۳/۶ برابری نسبت به شاهد همتای خود (کنترل موسکویتی در روز ۲۱) را نشان داد. در کل پریفایتون ۱۵، ۱۷ و بعد از آن ۱۱ و ۱ مقادیر بالایی از پتاسیم را حل کردند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. در تمام تیمارها، شامل پریفایتون‌های موسکویتی و فلوگوپیتی با گذر زمان میزان انحلال افزایش پیدا کرده است که این افزایش در تیمار کنترل موسکویتی بسیار کم بوده و در روزهای نمونه‌گیری اختلاف معنی‌دار باهم نداشتند. اما در مورد کنترل فلوگوپیتی، افزایش ۲ برابری در میزان پتاسیم محلول در طول آزمایش دیده شد. اما با این حال کمترین میزان پتاسیم محلول در طول آزمایش مربوط به نمونه‌های کنترل بود و تمام تیمارهای آزمایشی با شاهدها دارای اختلاف آماری معنی‌دار هستند.

بحث

همان‌طور که در بخش نتایج گفته شـد اثر سـاده کانی باعث افزایش پتاسـیم محلول در تیمارهای فلوگوپیتی شـده و از طرفی همراه با افزایش انحلال، افزایش EC اتفاق افتاده اسـت که مسـأله می‌تواند به قدرت انحلال بالاتر و ناپایداری بیش‌تر فلوگوپیت نسـبت به مو سکویت مربوط با شد. از طرفی با افزایش انحلال مواد محلول بیش‌تر در محیط آزاد شده و باعث افزایش EC شده ا ست. آزمایش صادقی‌آزاد و همکاران هم ن شان داد که سویه‌های قارچی مورد ا ستفاده در آزمایش قادر به آزاد سازی پتا سیم از سیلیکات‌ها بودند اما بیش‌ترین میزان رها سازی پتا سیم از منابع مورد ا ستفاده به ترتیب بیوتیت، فلوگوپیت، ایلایت و مو سکویت بود (صادقی‌آزاد و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به این نکته که کانی فلوگوپیت از نوع تری اکتاهدرال و کانی موسـکویت دی اکتاهدرال می‌باشـد، امکان هوادیدگی شـیمیایی کانی فلوگوپیت بالاتر می‌باشـد. از طرفی فلوگوپیت دارای آهن فرو در سـاختار خود می‌باشـد که باعث افزایش ناپایداری آن می شود (Öborn et al., 2005). ناهیدان و همکاران (۱۴۰۲) نیز در مطالعه‌ای به برر سی تأثیر چند گونه قارچی روی آزادسازی پتا سیم پرداختند، نتایج ن شان داد میزان پتا سیم آزاد شده تو سط گونه‌های قارچی در مقایسه با شاهد از کانی فلوگوپیت ۱۰۳ تا ۳۸۹ در صد و از کانی مو سکویت ۲۱/۵ تا ۱۷۸ در صد بوده ا ست. در این مطالعه علت این نتیجه را با دو دلیل ا ستدلال کرده‌اند: ۱) در کانی مو سکویت هیدروکسیل نسبت به ورقه‌های سیلیکات، در موقعیت مایل قرار گرفته و فاصله بین پروتون و پتا سیم از هم زیاد است که باعث کاهش دفع پتا سیم می شود. این در حالی ا ست که این موقعیت در فلوگوپیت نرمال بوده و پروتون و پتا سیم بین لایه‌ای نزدیک ه ستند و دفع پتاسـیم افزایش می‌یابد. ۲) در ورقه اکتاهدرال فلوگوپیت، کانی غالب آهن دو ظرفیتی و منیزیم بوده و در موسـکویت آلومینیوم اسـت. بنابراین یون پتاسیم در فلوگوپیت پایداری کمتری نسبت به موسکویت دارد.

از طرفی م شخص شد اثر دوگانه کانی و زمان روی پتا سیم اثر معنی‌دار ندا شت که می‌تواند ن شان دهنده این مو ضوع با شد که کانی به خودی خود با گذر زمان انحلال پیدا نکرده و باید تحت تأثیر عامل دیگر که در اینجا پریفایتون می‌باشـد، قرار بگیرد که از افزایش زیاد مقدار پتاسیم محلول نسبت به شاهد در اثرات دوگانه پریفایتون × کانی و اثرات سه گانه پریفایتون× کانی × زمان مشهود می‌باشد.

اثر دوگانه پریفایتون× کانی نشـان داد در شـاهد، EC تیمار فلوگوپیتی بالاتر بوده ولی در تیمارهای تلقیح شـده پریفایتونی، EC در تیمار مو سکویتی بالاتر بوده ا ست. این تفاوت به این دلیل ا ست که در تیمارهای پریفایتونی، هر چه مواد محلول بیش‌تر در محیط آزاد شده تو سط پریفایتون‌ها جذب شده ولی وقتی مقدار انحلال کم بوده (در تیمارهای مو سکویتی) جذب کمتر انجام شده و به همین دلیل در محیط میزان مواد بالاتر قرار گرفته ا ست. از طرفی اثر ساده زمان ن شان داد در روز ۱۴ نمونه‌برداری پتا سیم محلول در محیط کمتر شده و سپس در روز ۲۱ افزایش پیدا کرده است. این مسأله نشان دهنده سرعت بسیار بالای رشد پریفایتون در روزهای ابتدایی می‌باشد که با افزایش زیسـت‌توده باعث افزایش میزان انحلال پتاسـیم شـده اسـت. چون با افزایش رشـد پریفایتون جوامع باکتریایی و قارچی توانمند در انحلال پتا سیم سبب آزاد سازی این عن صر از ساختار کانی شده ا ست. سپس در نتایج روز ۱۴ که با کاهش پتا سیم محلول مواجه هستیم می‌تواند نشان دهنده جذب پتاسیم به ساختار پریفایتون باشد. همانطور که اشاره شد، لایه‌های زیستی پریفایتون به عنوان مخزن موقت هسـتند و توانایی جذب/رهاسـازی مقادیر زیادی از عناصـر غذایی را دارند (Liu et al., 2016). در پژوهش زندپارسـا و همکاران (۱۴۰۰)، نیز نتایج ن شان داد با تو سعه زیـست‌توده اپی‌پلون‌ها تا روز پنجم آزمایش میزان پتا سیم محلول روند افزای شی دا شته است اما بعد از آن کاهش پیدا کرده است که به دلیل ذخیره پتاسیم در ساختار پریفایتون می‌باشد.

در مورد این موضـوع که بالاترین میزان انحلال پتاسـیم مربوط به تیمارهای تلقیح شـده با اپی‌فایتون‌های معلق در آب بوده اسـت، می‌توان این‌گونه استدلال کرد، چون این گروه از پریفایتون‌ها در تمام قسمت‌های محیط کشت رشد می‌کنند، احتمالاً دسترسی بالاتری به کانی‌های نامحلول پیدا کرده و از این طریق باعث افزایش میزان انحلال می‌شوند.

نمونه‌های مربوط به شماره ۱۹، ۲۰ و ۲۱ که مربوط به خاک آیش می‌با شند توان بالایی در انحلال پتا سیم نامحلول ندا شتند اما باز هم نسبت به شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بودند. این موضوع نشان می‌دهد خاکی که از نظر کشاورزی فعال می‌باشد به دلیل جمعیت و تنوع اورگانیسم‌ها، جمعیت میکروبی غنی‌تری دا شته و خواهد توانست میزان انحلال کانی‌های غیرمحلول بالاتری دا شته با شد. در این

آزمایش همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها گفته شد، از سه شالیزار و یک زمین آیش نمونه‌برداری انجام گرفت. شالیزارهای مد نظر از سه نقطه مختلف استان گیلان انتخاب شدند تا تفاوت بین عملکرد پریفایتون‌ها که ناشی از تفاوت در تنوع و ترکیب جمعیت میکروبی می‌باشد، مشخص گردد و نتایج بتواند برای اکثر مناطق استان گیلان قابل تعمیم باشد. زمین آیش انتخاب شده به عنوان نمونه‌ای است که ۵ سال هیچ کشتی در آن صورت نگرفته و فرض اولیه بر آن است که خشکی خاک با وجود این‌که در صورت غرقاب شدن مجدد، جمعیت پریفایتونی در آن تشکیل خواهد شد، باعث از بین رفتن بخشی از اورگانیسم‌های توانمند شده است. با توجه به نتایج به دست آمده در مورد انحلال پتاسیم در خاک آیش، این فرضیه به اثبات رسید که قدرت انحلال پتاسیم در خاک آیش کمتر از شالیزار بود. اما این احتمال وجود دارد با گذشت زمان، کشت دوباره و غرقاب شدن بتواند میزان انحلال بالاتری داشته باشد.

از اثر سه‌گانه فاکتورهای پریفایتون× کانی× زمان مشخص شد در تیمار شاهد با گذر زمان افزایش EC و کاهش pH اتفاق افتاده است در حالی‌که در تیمارهای پریفایتونی برعکس بوده و کاهشEC و افزایش pH ثبت شد. افزایش pH می‌تواند نشان‌دهنده افزایش فعالیت فتوسنتزی باشد. نتیجه پژوهش‌های دیگر نیز نشان می‌دهد با افزایش رشد اپی‌فایتون و اپی‌پلون در حضور کانی‌های موسکویت و بیوتیت، pH روند افزایشی داشته است (علی‌بخشی و همکاران، ۱۴۰۰، زندپارسا و همکاران، ۱۴۰۰). میکروبیوم پریفایتون که دارای فتواتوتروف‌ها در ساختار خود می‌باشد، می‌تواند با تولید آنزیم‌های خارج سلولی، جذب مواد غذایی، با مصرف کربن‌دی‌اکسید و آزادکردن اکسیژن میزان pH را تحت تأثیر قرار دهد (Hayashi et al., 2012؛ Liu et al., 2016). Lu و همکاران (۲۰۱۷) هم اعلام کردند در طول آزمایش پریفایتون‌ها باعث افزایش pH آب از ۷/۵ به ۱۰ شدند. در یک آزمایش میکروکاسم[2] pH محیط که دارای پریفایتون بود در طول ۴۲ روز بررسی شد و نتایج نشان داد در طول دوره آزمایش pH از ۷/۵ به ۹/۹ رسیده است (Su et al., 2017). Lu و همکاران (۲۰۱۶) هم اعلام کردند پریفایتون‌ها که دارای جمعیت جلبکی در ساختار خود هستند ، به دلیل فتوسنتز سبب افزایش pH آب می‌شوند.

با توجه به نتایج EC مشخص شد تمام تیمارها باعث کاهش EC محیط کشت شده‌اند. که این می‌تواند به دلیل افزایش زیست‌توده پریفایتونی و در نتیجه افزایش جذب مواد محلول در آب توسط پریفایتون‌ها باشد. در مورد شاهد دارای فلوگوپیت افزایش EC گزارش شد، همین نتیجه در مورد پتاسیم محلول هم دیده می‌شود که این نشان دهنده این مسأله است که با افزایش انحلال کانی فلوگوپیت، افزایش مواد محلول و در نتیجه افزایش EC اتفاق افتاده است. نتیجه مطالعه Lu و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داد پریفایتون شالیزار تأثیر معنی‌داری روی جابجایی نمک در اکوسیستم شالیزاری دارد و می‌تواند با جذب نمک در ساختار خود باعث کاهش تجمع نمک در سطح خاک و EC شود که می‌تواند به دلیل حضور سیانوباکترها در این مجموعه میکروبی باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد انواع مختلف جوامع پریفایتونی اعم از اپی‌پلون و اپی‌فایتون توان چشمگیری در آزادسازی پتاسیم از منابع کانی‌های سیلیکاته موسکویت و فلوگوپیت دارد. بالاترین میزان رهاسازی پتاسیم از هر دو منبع مشابه بوده و در تیمارهای تلقیح شده با اپی‌فایتون معلق در آب مشاهده گردید. با توجه به این قدرت بالا در این جامعه میکروبی در توان انحلال پتاسیم به نظر می‌رسد ادامه پژوهش‌ها در این زمینه می‌تواند راهکاری ارزشمند برای استفاده از توانایی‌های بالقوه شالیزارها بوده و بتوان از آن برای تولید کودهای زیستی بهره برد تا گامی بزرگ در جهت کشاورزی پایدار برداشت و از این طریق بتوان به امنیت غذایی جمعیت رو به افزایش کشور کمک کرد. لذا در آزمون‌های بعدی توصیه می‌شود تا از این لایه زیستی در آزمایش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای بهره گرفته شود. از طرفی به دلیل توان بالای این جامعه میکروبی در انحلال کانی‌ها پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی میزان آزادسازی بقیه عناصر مورد نیاز گیاه مورد بررسی قرار گیرد. همچنین با توجه به قدرت بالای جذب عناصر توسط پریفایتون که باعث شده از آن به عنوان "مخزن" یاد شود، می‌تواند گزینه‌ای بسیار مناسب برای زیست پالایی اکوسیستم‌های آبی مورد مطالعه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مجموعه بنیاد ملی علم ایران (Iran National Science Foundation) که ما را در جهت تأمین هزینه‌های مالی این

[2]Microcosm

پژوهش (به شماره طرح ۴۰۰۰۷۳۶) کمک کردند، نهایت تشکر و سپاسگزاری را داریم.

منابع

آل‌طه، راحله؛ صفری سنجانی، علی‌اکبر و ظفری، دوستمراد (۱۳۹۷). ارزیابی توان رشد در گیاه اسپناج مایه‌زنی شده با قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا، مایکورایزا و قارچ‌های دیواره تاریک در تنش خشکی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۳(۲)، ۵۱۷-۵۳۱.

خیامیم، فاطمه؛ خادمی، حسین؛ خوشگفتارمنش، امیرحسین و ایوبی، شمس‌اله. (۱۳۸۸). توانایی گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) در جذب پتاسیم از میکاهای دی و تری‌اکتاهدرال. *نشریه آب و خاک*، ۲۳ (۴)، ۱۷۰-۱۷۸.

زند پارسا، شهرزاد؛ علی بخشی فرد، متین؛ علیخانی، حسینعلی؛ اعتصامی، حسن؛ اسدی رحمانی، هادی و امامی سمیه (اردیبهشت ۱۴۰۰). مطالعه قابلیت انحلال زیستی کانی‌های سیلیکاتی پتاسیم توسط پریفایتون‌های سطح خاک برخی از شالیزارهای استان گیلان. هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه تجدید حیات حکیمانه خاک و حکمروائی حکیمانه آب.

ساریخانی، محمدرضا؛ ملبوبی، محمدعلی و ابراهیمی میترا (۱۳۹۳). باکتری‌های حل‌کننده فسفات: جداسازی باکتری‌ها و ژن‌های رمزکننده حل‌کنندگی فسفات، مکانیسم و ژنتیک انحلال فسفات. *فصلنامه بیولوژیکی کشاورزی*، (۱)، ۷۷-۱۱۰.

صادقی‌آزاد، سعید؛ رسولی صدقیانی، میرحسن؛ برین، محسن؛ سپهر، ابراهیم؛ دولتی، بهنام و واحدی، رقیه (۱۳۹۷). تأثیر قارچ‌های حل‌کننده پتاسیم بر آزادسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاتی و برخی شاخص‌های رشد گیاه ذرت (*Zea mays L.*). *تحقیقات کاربردی خاک*، ۶(۲)، ۹۶-۱۰۸.

علی بخشی‌فرد، متین؛ زند پارسا، شهرزاد، علیخانی، حسینعلی؛ اعتصامی، حسن؛ پوربابایی، احمدعلی و امامی، سمیه (اردیبهشت ۱۴۰۰). ارزیابی کارایی اپی فایتون های شالیزارهای استان گیلان در رهاسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاتی. هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه تجدید حیات حکیمانه خاک و حکمروائی حکیمانه آب.

علیخانی، حسینعلی؛ امامی، سمیه و اعتصامی، حسن (۱۴۰۰). پریفایتون و نقش کلیدی آن در شالیزارها و سلامت محیط زیست. *تحقیقات آب و خاک*، ۵۲ (۲)، ۴۵۱-۴۶۷.

ناهیدان، صفور؛ احدی، نساء و عبدالرحیمی، سمیرا. (۱۴۰۲). کارایی برخی از گونه‌های قارچی در انحلال فسفات و رهاسازی پتاسیم و آهن از فلوگوپیت و موسکویت. تحقیقات کاربردی خاک، ۱۱ (۱)، ۱۱۲-۱۲۴.

References

Aletaha, R.S., Safari Sinegani, A.A., & Zafari, D. (2018). Evaluation of Growth Potential in Inoculated Spinach Plants with Piriformospora indica, Mycorrhizal and Dark septate Endophyte in Drought Stress. *Crops Improvement (Journal of Agricultural Crops Production)*, 20(2), 517-531. doi: 10.22059/jci.2018.245256.1865. (In Persian).

Alikhani, H.A., Emami, S., & Etesami, H. (2021). Periphyton and Its Key Role in Paddy Fields and Environmental Health. *Iranian Journal of Soil and Water Reasearch*, 52(2), 451-467. (In Persian). doi: 10.22059/IJSWR.2021.315436.668835.

Bakhshifard, M., Zandparsa, Sh., Alikhani, H.A., & Etesami, H. (2021). Evaluation of the efficiency of epiphytons in Guilan province paddy fields in releasing potassium from silicate minerals. 17th Iranian Soil Science Congress: Soil Perspectives in the New Century of Iran. (In Persian).

Basak, B.B., Sarkar, B., Biswas, D.R., Sarkar, S., Sanderson, P., & Naidu, R. (2017). Biointervention of naturally occurring silicate minerals for alternative source of potassium: challenges and opportunities. *Advances in Agronomy*, 141, 115-145.

Beheshti, M., Alikhani, H. A., Pourbabaee, A. A., Etesami, H., Rahmani, H. A & Norouzi, M. (2021). Periphytic biofilm and rice rhizosphere phosphate-solubilizing bacteria and fungi: A possible use for activating occluded P in periphytic biofilms in paddy fields. *Rhizosphere*, 19, 100395.

Bischoff, H.W., & Bold, H.C. (1963). Phycological Studies IV. Some Soil Algae From Enchanted Rock and Related Algal Specie. University of Texas, Austin, 6318, 1-95.

Bold, H.C. (1949). The morphology of *Chlamydomonas chlamydogama* sp. nov. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 76, 101-108.

Ellwood, N. T., Di Pippo, F., & Albertano, P. (2012). Phosphatase activities of cultured phototrophic biofilms. *Water Research*, 46(2), 378-386.

Etesami, H., Emami, S., & Alikhani, H.A. (2017). Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(4), 897-911.

Gaind, S. (2016). Phosphate dissolving fungi: mechanism and application in alleviation of salt stress in wheat. *Microbiological Research*,193, 94-102.

Gulzar, A., Mehmood, M.A., & Chaudhary, R. (2017). Stream periphyton community: A brief review on ecological importance and regulation. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture*, 3 (9), 64-68.

Hayashi, M., Vogt, T., Mächler, L., & Schirmer, M. (2012). Diurnal fluctuations of electrical conductivity in a pre-alpine river: Effects of photosynthesis and groundwater exchange. *Journal of Hydrology*, 450, 93- 104.

Khayamim, F., Khademi, H., Khoshgoftarmanesh A.H., & Ayoubi, Sh. (2009). Ability of barley (Hordeum vulgare L.) to take up potassium from di- and tri-octahedral micas. *Journal of Water and Soil*, 23(4), 170-178. doi: 10.22067/JSW.V0I0.2481. (In Persian).

Liu, D., Lian, B., & Dong, H. (2012). Isolation of *Paenibacillus* sp. and assessment of its potential for enhancing mineral weathering. *Geomicrobiology Journal*, 29, 413-421.

Liu, J., Liu, W., Wang, F., Kerr, P., & Wu, Y. (2016). Redox zones stratification and the microbial community characteristics in a periphyton bioreactor. *Bioresource Technology*, 204, 114-121

Lu, H., Liu, J., Kerr, P.G., Shao, H., & Wu, Y. (2017). The effect of periphyton on seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa*) in paddy area. *Science of the Total Environment*, 578, 74-80.

Lu, H., Qi, W., Liu, J., Bai, Y., Tang, B., & Shao, H. (2018). Paddy periphyton: potential roles for salt and nutrient management in degraded mudflats from coastal reclamation. *Land Degradation and Development*, 29(9), 2932-2941.

Lu, H., Wan, J., Li, J., Shao, H., & Wu, Y., (2016). Periphytic biofilm: A buffer for phosphorus precipitation and release between sediments and water. *Chemosphere*, 144, 2058-2064.

Lu, H., Yang, L., Zhang, S., & Wu, Y. (2014). The behavior of organic phosphorus under non-point source wastewater in the presence of phototrophic periphyton. *PLOS ONE*, 9(1), e85910.

Manning, D.A.C., Baptista, J., Limon, M.S., & Brandt, K. (2017). Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. *Science of the Total Environment*, 574, 476-481.

Meena, V.S., Maurya, B.R., Verma, J.P., Meena, R.K., & Meena SK. (2016). Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture. In: Meena VS (eds.). Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture. Springer India.

Nahidan, S., Ahadi, N., & Abduolrahimi, S. (2023). Efficiency of some fungal species in phosphate solubilization and potassium and iron release from phlogopite and muscovite. *Applied Soil Research*, 11(1), 112-124. (In Persian).

Öborn, I., Andrist-Rangel, Y., Askekaard, M., Grant, C., Watson, C., & Edwards, A. (2005). Critical aspects of potassium management in agricultural systems. *Soil Use and Management*, 21(1), 102-112.

Poulíčková, A., Hašler, P., Lysáková, M., & Spears, B. (2008). The ecology of freshwater epipelic algae: an update. *Phycologia*, 47(5), 437-450.

Sadeghi, S., Rasouli-Sadaghiani, M.H., Barin, M., Sepehr, E., Dovlti, B., & Vahedi, R. (2017). Influence of k-solubilizing fungi on potassium release from silicate minerals and some growth indexes on Corn (Zea mays L.). *Applied Soil Research*, 6(2), 96-108. (In Persian).

Sarikhani, M.R. (2016). Increasing potassium (K) release from K-containing minerals in the presence of insoluble phosphate by bacteria. *Biological Journal of Microorganism*, 4(16), 87-96.

Sarikhani, M.R., Malboubi, M, & Ebrahimi, M. (2014). Phosphate solubilizing bacteria: Isolation of Bacteria and Phosphate Solubilizing Genes, Mechanism and Genetics of Phosphate Solubilization. *Agricultural Biotechnology Journal*, 6(1), 77-110. doi: 10.22103/JAB.2014.1294. (In Persian).

Shujie, C., Kaiying, D., Jun, T., Rui, S., Hailong, L., Jiuyu, L., Yonghong, W., & Renkou, X. (2021). Characterization of extracellular phosphatase activities in periphytic biofilm from paddy field. *Pedosphere,* 31, 116-124.

Shu-Xin, T., Zhi-Fen, G., & Jin-He, S. (2007). Effect of oxalic acid on potassium release from typical Chinese soils and minerals. *Pedosphere*, 17(4): 457-466.

Sparks, D. L. (1987). Potassium dynamics in soils. In Advances in soil science, 1-63, Springer.

Štyriaková, I., Štyriak, I., Nandakumar, M.P., & Mattiasson, B. (2003). Bacterial destruction of mica during bioleaching of kaolin and quartz sands by Bacillus cereus. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 19(6), 583-590.

Su, J., Kang, D., Xiang, W., & Wu, C. (2017). Periphyton biofilm development and its role in nutrient cycling in paddy microcosms. *Journal of Soils and Sediments*, 17(3), 810-819.

Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (1985). Soil fertility and fertilizers. Collier Macmillan Publishers.

Uroz, S., Calvaruso, C., Turpault, M.-P., & Frey-Klett, P. (2009). Mineral weathering by bacteria: ecology, actors and mechanisms. *Trends in Microbiology*, 17(8): 378-387.

Weigelhofer, G., Ramião, J.P., Pitzl, B., Bondar-Kunze, E., & O'Keeffe, J. (2018). Decoupled water sediment interactions restrict the phosphorus buffer mechanism in agricultural streams. *Science of the Total Environment,* 628, 44-52.

Wu, Y., Liu, J., & Rene, E.R. (2018). Periphytic biofilms: a promising nutrient utilization regulator in wetlands. *Bioresource Technology*, 248, 44-48.

Wu, Y., Liu, J., Lu, H., Wu, C., & Kerr, P. (2016). Periphyton: an important regulator in optimizing soil phosphorus bioavailability in paddy fields. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(21), 21377-21384.

Yuvaraj, M., & Ramasamy, M. (2020). Role of Fungi in Agriculture. In: Mirmajlessi S M and Radhakrishnan R (Eds.), Biostimulants in Plant Science. *IntechOpen*, London, UK, 89-100.

Zandparsa, Sh., Bakhshifard, M., Alikhani, H.A., & Etesami, H. (2021). Study of bio- solubilization of potassium silicate minerals by Epipelon in some paddy fields of Guilan province. 17th Iranian Soil Science Congress: Soil Perspectives in the New Century of Iran. (In Persian).

Zin, N.A., & Badaluddin, N.A. (2020). Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 168-178.

Valuation of the efficiency of epipelones and epiphytons in the rice paddies of Guilan province in releasing potassium from muscovite and phlogopite

EXTEDED ABSTRACT

Background and purpose:

Periphytic biofilms live by adhering to hard substrates in aquatic ecosystems, especially in shallow, flooded areas. They are named according to the substrate on which they are found. The primary components of periphyton formation (algae, bacteria, fungi, metazoans, protozoa) play a crucial role in nutrient cycling in aquatic ecosystems, including rice fields. These biofilms act as a high active biological buffer for continuous nutrient transformations, sedimentation and release, effectively serving as a sink/source of nutrients between the soil and the water layer. It can be used as a potential biofertilizer. Studies have shown that bacteria and fungi can release potassium by breaking down or altering the structure of potassium-bearing minerals (such as mica and feldspar). Considering that research related to the periphyton is very limited in Iran and all over the world and that such studies have only recently begun in Iran, understanding the impact and performance of periphyton is essential. On the other hand, the complex composition of the periphyton microbial community may contain elements or interactions that have not been identified yet. Therefor, examining the entire biofilm in terms of potassium dissolution, which is one of the essential elements for plant growth, is highly effective.

Materials and methods:

To conduct this research, samples were collected from three different locations in Guilan Province. Paddy field samples, including epipelon and epiphyton, as well as fallow soil samples, were taken from the soil surface in three replicates. These samples were transferred to the laboratory in an ice box and then recultured in BBM medium. A modified BBM medium with muscovite and phlogopite mica was used for quantitative analysis of potassium solubilization. In this process, 10 ml of periphyton grown in the laboratory were inoculated into 100 ml of medium containing 2.5 g Ł of muscovite/phlogopite minerals.

The necessary greenhouse conditions for this test include: a temperature of 28 °C, lighting at 5000 lux, a 12/12hour light/dark cycle, and daily aeration by manual shaking. This experiment, which lasted for three weeks, involved sampling at 7-day intervals to measure the EC, pH and soluble K parameters of the solution.

Findings:

The amount of potassium dissolution in medium with phlogopite treatments was somewhat higher than in treatments whit muscovite. According to the potassium levels in all treatments, we observed a significant increase in soluble potassium. The potassium level in most treatments were observed on the 14th day and the highest levels being 14.33 and 14.26 mg Ł for the periphyton number 15, indicating a 3.6-fold increase compared to the control. Next periphyton sample 17 showed a 3.5-fold increased compared to the control, whit soluble potassium of 14.21 and 14 mg Ł both samples mentioned above belong to the Vajargah rice field. This indicates a very high rate of periphyton growth in the early days, which increased the amount of soluble potassium due to biomass growth. As periphyton grows, bacterial and fungal communities capable of dissolving potassium release this nutrient from the mineral structure. By the 14th day, we observed a decrease in soluble potassium, which may indicate the absorption of potassium into the periphyton structure.

Samples numbered 19, 20 and 21, related to fallow soil, did not have high potassium dissolution but still showed a significant difference compared to the control. But this shoed an 83% increase compared to the control.

Regarding the pH results, we observed an increase in acidity compared to the initial days of incubation, which increased simultaneously with the growth of periphyton. This may indicate an increase in photosynthetic activity. According to the EC results, all treatments caused a decrease in the EC of the medium, likely due to the increase in periphyton biomass and the resulting absorption of soluble substances by the periphyton.

Conclusion:

The results of this research demonstrated that various types of epipelons, epiphytons and fallow soil microbiomes possess a notable ability to release potassium from silicate minerals.

Author Contributions

Conceptualization, H.A. Alikhani. and M. Leylasi-Marand.; methodology, H.A. Alikhani.; software, M. Leylasi-Marand.; validation, H.A. Alikhani. and S. Shariati ; formal analysis, M. Leylasi-Marand.; investigation, H.A. Alikhani. and S. Shariati; resources, M. Leylasi-Marand.; data curation, M. Leylasi-

Marand. S. Shariati; writing—original draft preparation, M. Leylasi-Marand.; writing—review and editing, M. Leylasi-Marand and S. Shariati.; visualization, H.A. Alikhani.; supervision, H.A. Alikhani. and S. Shariati.; project administration, H.A. Alikhani., S. Shariati and M. Leylasi-Marand.; funding acquisition, H.A. Alikhani and M. Leylasi-Marand. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Not applicable

Acknowledgements

This work is based upon research funded by Iran National Science Foundation (INSF) under project No.4000736.

Ethical considerations

The study was approved by the Ethics Committee of the University of ABCD (Ethical code: IR.UT.RES.2024.500). The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declare no conflict of interest.

ویرایشی شده

پیوست شماره ۱

جدول تکمیلی ۱. مقایسه میانگین اثر سه گانه پریفایتون و کانی مورد استفاده و زمان نمونه‌برداری بر روی پارامترهای مورد مطالعه

پریفایتون x کانی x زمان	EC	pH	K
$p_{control}\ m_1\ t_1$	۶۱۹/۵$^{g-n}$	۶/۸۶^{iii}	۳/۸۳^{rr}
$p_{control}\ m_1\ t_2$	۶۳۲/۰۰$^{c-h}$	۵/۱۶^{kkk}	۳/۷۶^{rr}
$p_{control}\ m_1\ t_3$	۶۱۰/۵$^{m-r}$	۵/۴۱^{jjj}	۳/۷۸^{rr}
$p_{control}\ m_1\ t_4$	۶۲۷/۵$^{e-m}$	۵/۴۷^{iij}	۳/۹۷^{rr}
$p_{control}\ m_2\ t_1$	۵۹۲/۰۰$^{s-z}$	۶/۹^{iii}	۴/۰۷^{rr}
$p_{control}\ m_2\ t_2$	۶۳۵/۰۰$^{c-h}$	۵/۳۲$^{iij-kkk}$	۴/۱۴^{rr}
$p_{control}\ m_2\ t_3$	۶۴۷/۵^{bc}	۵/۳۹^{iij}	۸/۳۲^{qq}
$p_{control}\ m_2\ t_4$	۶۹۵/۵^{a}	۵/۴۲^{iij}	۸/۸۰^{qq}
$p_1\ m_1\ t_1$	۶۱۹/۵$^{g-n}$	۶/۸۶^{iii}	۳/۸۳^{rr}
$p_1\ m_1\ t_2$	۶۳۰/۵$^{c-l}$	۷/۴۵^{ggghhh}	۱۳/۶۴$^{a-j}$
$p_1\ m_1\ t_3$	۶۱۴/۵$^{j-o}$	۸/۱۳$^{ccc-eee}$	۱۳/۴۳$^{d-n}$
$p_1\ m_1\ t_4$	۵۹۵/۵$^{q-y}$	۸/۷۹$^{ii-ss}$	۱۳/۶۲$^{b-k}$
$p_1\ m_2\ t_1$	۵۹۲$^{s-z}$	۶/۹^{iii}	۴/۰۷^{rr}
$p_1\ m_2\ t_2$	۶۱۳/۵$^{j-p}$	۷/۳۴^{hhh}	۱۳/۶۶$^{a-j}$
$p_1\ m_2\ t_3$	۵۸۶/۵$^{u-bb}$	۷/۷۲^{fff}	۱۳/۵۵$^{c-l}$
$p_1\ m_2\ t_4$	۵۸۳/۵$^{u-cc}$	۸/۷۴$^{ll-uu}$	۱۳/۴۳$^{d-n}$
$p_2\ m_1\ t_1$	۶۱۹/۵$^{g-n}$	۶/۸۶^{iii}	۳/۸۳^{rr}
$p_2\ m_1\ t_2$	۵۷۵$^{z-ii}$	۷/۵۶^{fffggg}	۱۱/۹۳$^{z-ii}$
$p_2\ m_1\ t_3$	۵۳۸/۵$^{uu-ddd}$	۸/۳۲$^{aaa-ddd}$	۱۱/۶۵$^{cc-ll}$
$p_2\ m_1\ t_4$	۵۲۲$^{ddd-lll}$	۸/۵۸$^{tt-yy}$	۱۱/۳۶$^{ff-pp}$
$p_2\ m_2\ t_1$	۵۹۲$^{s-z}$	۶/۹^{iii}	۴/۰۷^{rr}
$p_2\ m_2\ t_2$	۵۶۵/۵$^{ff-mm}$	۷/۵۷^{fffggg}	۱۱/۸۱$^{aa-jj}$
$p_2\ m_2\ t_3$	۵۳۱$^{yy-iii}$	۸/۲۶^{ccc}	۱۱/۳۶$^{ff-pp}$
$p_2\ m_2\ t_4$	۵۰۶$^{lll-qqq}$	۸/۸۲$^{ii-rr}$	۱۱/۱۷$^{jj-pp}$

ویرایشاری نشده

۳/۸۳^{rr}	۶/۸۶^{iii}	۶۱۹/۵$^{g-n}$	p_3 m_1 t_1
۱۲/۸۳$^{m-w}$	۹/۶۰$^{g-k}$	۶۲۱/۵$^{f-n}$	p_3 m_1 t_2
۱۲/۴۵$^{s-aa}$	۱۰/۲۰^{ab}	۶۳۴/۵$^{c-h}$	p_3 m_1 t_3
۱۲/۹۰$^{l-v}$	۱۰/۰۳^{bcd}	۶۰۹$^{n-s}$	p_3 m_1 t_4
۴/۰۷^{rr}	۶/۹^{iii}	۵۹۲$^{s-z}$	p_3 m_2 t_1
۱۲/۵۷$^{q-z}$	۹/۵۲$^{i-o}$	۶۱۴/۵$^{j-o}$	p_3 m_2 t_2
۱۲/۳۳$^{u-bb}$	۱۰/۰۵^{bc}	۵۸۳$^{w-ff}$	p_3 m_2 t_3
۱۲/۸۱$^{n-w}$	۹/۶۹$^{f-i}$	۵۶۹$^{cc-ll}$	p_3 m_2 t_4
۳/۸۳^{rr}	۶/۸۶^{iii}	۶۱۹/۵$^{g-n}$	p_4 m_1 t_1
۱۲/۱۷$^{w-dd}$	۸/۷۱$^{nn-uu}$	۵۸۵$^{u-cc}$	p_4 m_1 t_2
۱۱/۴۸$^{ff-nn}$	۸/۳۷$^{zz-ccc}$	۵۳۰$^{zz-iii}$	p_4 m_1 t_3
۱۲/۵۷$^{q-z}$	۹/۰۸$^{x-dd}$	۵۲۱$^{ccc-mmm}$	p_4 m_1 t_4
۴/۰۷^{rr}	۶/۹^{iii}	۵۹۲$^{s-z}$	p_4 m_2 t_1
۱۱/۹۸$^{y-gg}$	۹/۲۱$^{u-z}$	۵۸۱/۵$^{w-ff}$	p_4 m_2 t_2
۱۱/۶۵$^{cc-ll}$	۸/۶۵$^{qq-xx}$	۵۴۵$^{oo-aaa}$	p_4 m_2 t_3
۱۱/۷۴$^{bb-ll}$	۹/۵۷$^{n-l}$	۵۰۲$^{nnn-qqq}$	p_4 m_2 t_4
۳/۸۳^{rr}	۶/۸۶^{iii}	۶۱۹/۵$^{g-n}$	p_5 m_1 t_1
۱۲/۷۶$^{n-w}$	۹/۵۸$^{g-l}$	۶۲۹$^{d-k}$	p_5 m_1 t_2
۱۲/۶۲$^{p-y}$	۱۰/۲۰^{ab}	۶۴۳/۵$^{b-e}$	p_5 m_1 t_3
۱۳/۱۷$^{g-r}$	۹/۸۷$^{c-f}$	۵۹۴/۵$^{r-y}$	p_5 m_1 t_4
۴/۰۷^{rr}	۶/۹^{iii}	۵۹۲$^{s-z}$	p_5 m_2 t_1
۱۲/۹۵$^{k-u}$	۹/۳۲$^{p-v}$	۵۷۶$^{z-ii}$	p_5 m_2 t_2
۱۲/۷۱$^{o-w}$	۹/۵۳$^{i-n}$	۵۷۴$^{aa-jj}$	p_5 m_2 t_3
۱۳/۳۳$^{d-o}$	۹/۲۸$^{q-w}$	۵۵۵/۵$^{kk-uu}$	p_5m_2 t_4
۳/۸۳^{rr}	۶/۸۶^{iii}	۶۱۹/۵$^{g-n}$	p_6 m_1 t_1
۱۱/۸۱$^{aa-jj}$	۸/۴۷$^{xx-bbb}$	۵۶۳/۵$^{gg-nn}$	p_6 m_1 t_2
۱۱/۶۰$^{cc-ll}$	۹/۱۱$^{w-dd}$	۵۳۵/۵$^{vv-ggg}$	p_6 m_1 t_3
۱۲/۰۳$^{x-ff}$	۹/۵۵$^{h-m}$	۵۱۴/۵$^{iii-ppp}$	p_6 m_1 t_4
۴/۰۷^{rr}	۶/۹^{iii}	۵۹۲$^{s-z}$	p_6 m_2 t_1

ویرایشگری نشده

$۱۱/۵۷^{dd-ll}$	$۸/۶۳^{rr-zz}$	۵۷۰^{bb-kk}	$p_6\ m_2\ t_2$
$۱۱/۳۴^{gg-pp}$	$۹/۱۵^{w-cc}$	۵۵۲^{ll-ww}	$p_6\ m_2\ t_3$
$۱۱/۸۱^{aa-jj}$	$۹/۵۷^{h-l}$	۵۳۴^{xx-hhh}	$p_6\ m_2\ t_4$
$۳/۸۳^{rr}$	$۹/۸۶^{iii}$	$۶۱۹/۵^{g-n}$	$p_7\ m_1\ t_1$
$۱۳/۰۵^{j-s}$	$۹/۷۳^{fgh}$	$۶۶۰/۵^{b}$	$p_7\ m_1\ t_2$
$۱۲/۸۶^{m-v}$	$۱۰/۲۵^{a}$	۶۴۵^{bcd}	$p_7\ m_1\ t_3$
$۱۳/۲۶^{e-p}$	$۱۰/۰۳^{bcd}$	$۶۱۱/۵^{l-r}$	$p_7\ m_1\ t_4$
$۴/۰۷^{rr}$	$۶/۹^{iii}$	۵۹۲^{s-z}	$p_7\ m_2\ t_1$
$۱۲/۹۰^{l-v}$	$۹/۱۶^{w-aa}$	$۵۹۵/۵^{q-y}$	$p_7\ m_2\ t_2$
$۱۲/۶۹^{o-x}$	$۱۰/۰۳^{bcd}$	۶۱۲^{k-q}	$p_7\ m_2\ t_3$
$۱۳/۰۲^{j-t}$	$۹/۹۲^{cde}$	۵۹۹^{o-v}	$p_7\ m_2\ t_4$
$۳/۸۳^{rr}$	$۶/۸۶^{iii}$	$۶۱۹/۵^{g-n}$	$p_8\ m_1\ t_1$
$۱۱/۵۷^{dd-ll}$	$۹/۳۳^{o-v}$	۵۵۶^{kk-tt}	$p_8\ m_1\ t_2$
$۱۱/۲۹^{hh-pp}$	$۹/۸۹^{cde}$	۵۵۰^{mm-xx}	$p_8\ m_1\ t_3$
$۱۱/۵۷^{dd-ll}$	$۹/۳۴^{n-v}$	$۵۰۶/۵^{kkk-qqq}$	$p_8\ m_1\ t_4$
$۴/۰۷^{rr}$	$۶/۹^{iii}$	۵۹۲^{s-z}	$p_8\ m_2\ t_1$
$۱۱/۵۵^{dd-mm}$	$۹/۵۸^{g-l}$	$۵۵۷/۵^{ij-rr}$	$p_8\ m_2\ t_2$
$۱۱/۲۲^{jj-pp}$	$۹/۸۵^{def}$	$۵۳۸/۵^{uu-ddd}$	$p_8\ m_2\ t_3$
$۱۱/۶۰^{cc-ll}$	$۹/۵۴^{h-n}$	$۵۱۵/۵^{iii-ppp}$	$p_8\ m_2\ t_4$
$۳/۸۳^{rr}$	$۶/۸۶^{iii}$	$۶۱۹/۵^{g-n}$	$p_9\ m_1\ t_1$
$۱۳/۳۶^{d-o}$	$۹/۱۰^{w-dd}$	$۶۰۵/۵^{n-t}$	$p_9\ m_1\ t_2$
$۱۳/۱۹^{g-r}$	$۹/۶۳^{g-l}$	$۶۱۸/۵^{h-n}$	$p_9\ m_1\ t_3$
$۱۳/۶۲^{b-k}$	$۹/۰۸^{x-ee}$	۵۷۹^{x-gg}	$p_9\ m_1\ t_4$
$۴/۰۷^{rr}$	$۶/۹^{iii}$	۵۹۲^{s-z}	$p_9\ m_2\ t_1$
$۱۳/۱۹^{g-r}$	$۹/۲۲^{t-y}$	$۵۸۸/۵^{t-aa}$	$p_9\ m_2\ t_2$
$۱۳/۰۰^{j-u}$	$۹/۴۲^{k-s}$	$۵۷۸/۵^{y-hh}$	$p_9\ m_2\ t_3$
$۱۳/۴۰^{d-n}$	$۹/۱۱^{w-dd}$	$۵۵۶/۵^{kk-ss}$	$p_9\ m_2\ t_4$
$۳/۸۳^{rr}$	$۶/۸۶^{iii}$	$۶۱۹/۵^{g-n}$	$p_{10}\ m_1\ t_1$
$۱۱/۲۷^{ii-pp}$	$۸/۷۵^{ll-tt}$	۵۵۰^{mm-xx}	$p_{10}\ m_1\ t_2$

ویرایش اسناری نشده

$p_{10}\ m_1\ t_3$	۵۱۷$^{hhh-ooo}$	۹/۰۰$^{aa-hh}$	۱۰/۸۹$^{mm-pp}$
$p_{10}\ m_1\ t_4$	۴۹۲^{qqq}	۸/۸۰$^{ii-ss}$	۱۱/۱۹$^{jj-pp}$
$p_{10}\ m_2\ t_1$	۵۹۲$^{s-z}$	۶/۹^{iii}	۴/۰۷^{rr}
$p_{10}\ m_2\ t_2$	۵۴۲$^{rr-bbb}$	۸/۹۴$^{dd-kk}$	۱۱/۶۰$^{cc-ll}$
$p_{10}\ m_2\ t_3$	۵۰۱$^{ooo-qqq}$	۹/۴۷$^{j-q}$	۱۱/۱۵$^{jj-pp}$
$p_{10}\ m_2\ t_4$	۴۹۱/۵^{qqq}	۸/۸۹$^{ee-qq}$	۱۱/۶۵$^{cc-ll}$
$p_{11}\ m_1\ t_1$	۶۱۹/۵$^{g-n}$	۶/۸۶^{iii}	۳/۸۳^{rr}
$p_{11}\ m_1\ t_2$	۵۹۹/۵$^{o-v}$	۸/۶۳$^{rr-xx}$	۱۳/۳۱$^{e-o}$
$p_{11}\ m_1\ t_3$	۶۱۲$^{k-q}$	۹/۴۹$^{j-p}$	۱۳/۱۴$^{h-r}$
$p_{11}\ m_1\ t_4$	۵۷۶$^{z-ii}$	۸/۸۹$^{gg-rr}$	۱۳/۶۶$^{a-j}$
$p_{11}\ m_2\ t_1$	۵۹۲$^{s-z}$	۶/۹^{iii}	۴/۰۷^{rr}
$p_{11}\ m_2\ t_2$	۵۸۸/۵$^{t-aa}$	۸/۶۷$^{pp-ww}$	۱۳/۳۱$^{e-o}$
$p_{11}\ m_2\ t_3$	۵۹۵/۵$^{q-y}$	۹/۲۳$^{t-y}$	۱۳/۲۴$^{f-p}$
$p_{11}\ m_2\ t_4$	۵۶۰/۵$^{ii-pp}$	۸/۷۷$^{jj-tt}$	۱۳/۶۲$^{b-k}$
$p_{12}\ m_1\ t_1$	۶۱۹/۵$^{g-n}$	۶/۸۶^{iii}	۳/۸۳^{rr}
$p_{12}\ m_1\ t_2$	۵۳۵$^{ww-ggg}$	۸/۵۵$^{uu-zz}$	۱۱/۲۹$^{hh-pp}$
$p_{12}\ m_1\ t_3$	۵۳۹$^{tt-ddd}$	۸/۸۸$^{ff-oo}$	۱۱/۲۷$^{ii-pp}$
$p_{12}\ m_1\ t_4$	۵۰۴/۵$^{mmm-qqq}$	۸/۷۳$^{mm-uu}$	۱۱/۲۹$^{hh-pp}$
$p_{12}\ m_2\ t_1$	۵۹۲$^{s-z}$	۶/۹^{iii}	۴/۰۷^{rr}
$p_{12}\ m_2\ t_2$	۵۴۹/۵$^{mm-xx}$	۸/۶۲$^{ss-ww}$	۱۱/۷۲$^{bb-ll}$
$p_{12}\ m_2\ t_3$	۵۲۸$^{aaa-iii}$	۹/۲۷$^{r-x}$	۱۱/۳۶$^{ff-pp}$
$p_{12}\ m_2\ t_4$	۵۱۴$^{iii-ppp}$	۸/۷۹$^{ii-ss}$	۱۱/۴۶$^{ff-oo}$
$p_{13}\ m_1\ t_1$	۶۱۹/۵$^{g-n}$	۶/۸۶^{iii}	۳/۸۳^{rr}
$p_{13}\ m_1\ t_2$	۶۳۰/۵$^{c-j}$	۸/۲۴^{ccc}	۱۲/۹۵$^{k-u}$
$p_{13}\ m_1\ t_3$	۶۰۴/۵$^{n-t}$	۸/۵۸$^{tt-yy}$	۱۳/۰۲$^{j-t}$
$p_{13}\ m_1\ t_4$	۵۸۴$^{u-cc}$	۸/۳۷$^{aaa-ccc}$	۱۳/۲۶$^{e-p}$
$p_{13}\ m_2\ t_1$	۵۹۲$^{s-z}$	۶/۹^{iii}	۴/۰۷^{rr}
$p_{13}\ m_2\ t_2$	۶۱۸$^{h-n}$	۸/۳۳$^{aaa-ccc}$	۱۳/۱۹$^{g-r}$
$p_{13}\ m_2\ t_3$	۵۹۶/۵$^{p-x}$	۸/۵۱$^{vv-aaa}$	۱۳/۱۲$^{i-s}$

ویرایش اسناری نشده

$p_{13}\ m_2\ t_4$	$۵۸۱^{x\text{-}ff}$	$۸/۴۸^{ww\text{-}aaa}$	$۱۳/۵۰^{d\text{-}m}$
$p_{14}\ m_1\ t_1$	$۶۱۹/۵^{g\text{-}n}$	$۶/۸۶^{iii}$	$۳/۸۳^{rr}$
$p_{14}\ m_1\ t_2$	$۵۸۳^{v\text{-}dd}$	$۸/۲۶^{yy}$	$۱۲/۵۲^{r\text{-}z}$
$p_{14}\ m_1\ t_3$	$۵۵۲/۵^{ll\text{-}vv}$	$۸/۷۲^{nn\text{-}uu}$	$۱۲/۳۸^{t\text{-}bb}$
$p_{14}\ m_1\ t_4$	$۵۲۳/۵^{ccc\text{-}kkk}$	$۸/۴۰^{zz\text{-}ccc}$	$۱۲/۲۶^{v\text{-}cc}$
$p_{14}\ m_2\ t_1$	$۵۹۲^{s\text{-}z}$	$۶/۹^{iii}$	$۴/۰۷^{rr}$
$p_{14}\ m_2\ t_2$	$۵۷۹/۵^{x\text{-}gg}$	$۸/۲۹^{bbb\text{-}ddd}$	$۱۲/۵۲^{r\text{-}z}$
$p_{14}\ m_2\ t_3$	$۵۳۷/۵^{vv\text{-}eee}$	$۸/۷۲^{nn\text{-}uu}$	$۱۲/۲۶^{v\text{-}cc}$
$p_{14}\ m_2\ t_4$	$۵۳۴/۵^{xx\text{-}ggg}$	$۸/۴۱^{yy\text{-}ccc}$	$۱۲/۶۰^{q\text{-}z}$
$p_{15}\ m_1\ t_1$	$۶۱۹/۵^{g\text{-}n}$	$۶/۸۶^{iii}$	$۳/۸۳^{rr}$
$p_{15}\ m_1\ t_2$	$۶۳۶/۵^{c\text{-}g}$	$۸/۹۲^{ee\text{-}ll}$	$۱۳/۸۳^{a\text{-}g}$
$p_{15}\ m_1\ t_3$	$۶۱۵^{i\text{-}o}$	$۹/۷۷^{efg}$	$۱۳/۹۲^{a\text{-}e}$
$p_{15}\ m_1\ t_4$	$۶۱۰^{n\text{-}r}$	$۹/۴۱^{l\text{-}t}$	$۱۴/۳۳^{a}$
$p_{15}\ m_2\ t_1$	$۵۹۲^{s\text{-}z}$	$۶/۹^{iii}$	$۴/۰۷^{rr}$
$p_{15}\ m_2\ t_2$	$۶۲۸/۵^{d\text{-}l}$	$۸/۴۸^{ww\text{-}bbb}$	$۱۳/۷۴^{a\text{-}i}$
$p_{15}\ m_2\ t_3$	$۶۱۲^{k\text{-}q}$	$۹/۳۶^{m\text{-}u}$	$۱۳/۸۸^{a\text{-}f}$
$p_{15}\ m_2\ t_4$	$۵۹۹/۵^{o\text{-}v}$	$۹/۱۷^{u\text{-}aa}$	$۱۴/۲۶^{ab}$
$p_{16}\ m_1\ t_1$	$۶۱۹/۵^{g\text{-}n}$	$۹/۸۶^{iii}$	$۳/۸۳^{rr}$
$p_{16}\ m_1\ t_2$	$۵۵۶/۵^{kk\text{-}ss}$	$۹/۱۹^{u\text{-}aa}$	$۱۲/۰۳^{x\text{-}ff}$
$p_{16}\ m_1\ t_3$	$۵۰۴/۵^{mmm\text{-}qqq}$	$۹/۱۹^{u\text{-}aa}$	$۱۱/۵۷^{dd\text{-}ll}$
$p_{16}\ m_1\ t_4$	$۵۲۹^{zz\text{-}iii}$	$۸/۹۶^{cc\text{-}jj}$	$۱۲/۷۱^{o\text{-}w}$
$p_{16}\ m_2\ t_1$	$۵۹۲^{s\text{-}z}$	$۶/۹^{iii}$	$۴/۰۷^{rr}$
$p_{16}\ m_2\ t_2$	$۵۵۲/۵^{ll\text{-}vv}$	$۹/۰۷^{y\text{-}ff}$	$۱۱/۷۹^{aa\text{-}kk}$
$p_{16}\ m_2\ t_3$	$۴۹۹/۵^{pppqqq}$	$۸/۸۸^{ff\text{-}nn}$	$۱۱/۷۴^{bb\text{-}ll}$
$p_{16}\ m_2\ t_4$	$۵۱۰/۵^{iij\text{-}ppp}$	$۹/۲۵^{r\text{-}y}$	$۱۱/۷۴^{bb\text{-}ll}$
$p_{17}\ m_1\ t_1$	$۶۱۹/۵^{g\text{-}n}$	$۶/۸۶^{iii}$	$۳/۸۳^{rr}$
$p_{17}\ m_1\ t_2$	$۶۳۸/۵^{c\text{-}f}$	$۹/۱۶^{w\text{-}bb}$	$۱۳/۸۱^{a\text{-}h}$
$p_{17}\ m_1\ t_3$	$۶۱۵^{i\text{-}o}$	$۹/۵۲^{i\text{-}o}$	$۱۳/۷۴^{a\text{-}i}$
$p_{17}\ m_1\ t_4$	$۶۰۰/۵^{o\text{-}u}$	$۹/۲۳^{s\text{-}y}$	$۱۴/۲۱^{a\text{-}c}$

ویرایش اسناری نشده

$p_{17}\ m_2\ t_1$	۵۹۲$^{s\text{-}z}$	۶/۹^{iii}	۴/۰۷^{rr}
$p_{17}\ m_2\ t_2$	۵۷۴/۵$^{aa\text{-}jj}$	۹/۲۲$^{t\text{-}z}$	۱۳/۷۴$^{a\text{-}i}$
$p_{17}\ m_2\ t_3$	۶۰۰/۵$^{n\text{-}t}$	۹/۴۳$^{k\text{-}r}$	۱۳/۶۶$^{a\text{-}j}$
$p_{17}\ m_2\ t_4$	۵۹۸$^{o\text{-}w}$	۹/۳۰$^{p\text{-}v}$	۱۴/۰۰$^{a\text{-}d}$
$p_{18}\ m_1\ t_1$	۶۱۹/۵$^{g\text{-}n}$	۶/۸۶^{iii}	۳/۸۳^{rr}
$p_{18}\ m_1\ t_2$	۵۷۶$^{z\text{-}ii}$	۸/۹۲$^{dd\text{-}mm}$	۱۳/۰۰$^{j\text{-}u}$
$p_{18}\ m_1\ t_3$	۵۳۷$^{vv\text{-}fff}$	۸/۷۶$^{kk\text{-}tt}$	۱۲/۵۲$^{r\text{-}z}$
$p_{18}\ m_1\ t_4$	۶۰۵$^{n\text{-}t}$	۸/۰۲^{eee}	۱۳/۵۵$^{c\text{-}l}$
$p_{18}\ m_2\ t_1$	۵۹۲$^{s\text{-}z}$	۶/۹^{iii}	۴/۰۷^{rr}
$p_{18}\ m_2\ t_2$	۵۷۰/۵$^{bb\text{-}kk}$	۹/۰۹$^{w\text{-}dd}$	۱۲/۴۵$^{s\text{-}aa}$
$p_{18}\ m_2\ t_3$	۵۰۷$^{kkk\text{-}qqq}$	۹/۱۸$^{u\text{-}aa}$	۱۱/۹۵$^{y\text{-}hh}$
$p_{18}\ m_2\ t_4$	۵۶۱/۵$^{hh\text{-}oo}$	۸/۴۹$^{ww\text{-}aaa}$	۱۳/۰۵$^{j\text{-}s}$
$p_{19}\ m_1\ t_1$	۶۱۹/۵$^{g\text{-}n}$	۶/۸۶^{iii}	۳/۸۳^{rr}
$p_{19}\ m_1\ t_2$	۵۴۸$^{nn\text{-}yy}$	۸/۶۴$^{qq\text{-}xx}$	۱۱/۳۴$^{gg\text{-}pp}$
$p_{19}\ m_1\ t_3$	۵۲۲$^{ddd\text{-}lll}$	۹/۰۰$^{bb\text{-}ll}$	۱۰/۷۴^{pp}
$p_{19}\ m_1\ t_4$	۵۰۸/۵$^{iij\text{-}qqq}$	۹/۰۱$^{aa\text{-}hh}$	۱۱/۰۸$^{ll\text{-}pp}$
$p_{19}\ m_2\ t_1$	۵۹۲$^{s\text{-}z}$	۶/۹^{iii}	۴/۰۷^{rr}
$p_{19}\ m_2\ t_2$	۵۵۹/۵$^{ii\text{-}qq}$	۸/۷۶$^{kk\text{-}tt}$	۱۱/۶۵$^{cc\text{-}ll}$
$p_{19}\ m_2\ t_3$	۵۴۰$^{ss\text{-}ccc}$	۸/۸۳$^{hh\text{-}qq}$	۱۱/۳۸$^{ff\text{-}pp}$
$p_{19}\ m_2\ t_4$	۵۲۰$^{fff\text{-}mmm}$	۸/۶۷$^{pp\text{-}ww}$	۱۱/۳۸$^{ff\text{-}pp}$
$p_{20}\ m_1\ t_1$	۶۱۹/۵$^{g\text{-}n}$	۶/۸۶^{iii}	۳/۸۳^{rr}
$p_{20}\ m_1\ t_2$	۵۶۶$^{dd\text{-}mm}$	۹/۰۱$^{aa\text{-}hh}$	۱۱/۵۰$^{dd\text{-}nn}$
$p_{20}\ m_1\ t_3$	۵۴۳$^{qq\text{-}aaa}$	۹/۱۶$^{p\text{-}bb}$	۱۱/۳۱$^{gg\text{-}pp}$
$p_{20}\ m_1\ t_4$	۵۲۹/۵$^{zz\text{-}iii}$	۹/۰۳$^{z\text{-}gg}$	۱۱/۵۷$^{dd\text{-}ll}$
$p_{20}\ m_2\ t_1$	۵۹۲$^{s\text{-}z}$	۶/۹^{iii}	۴/۰۷^{rr}
$p_{20}\ m_2\ t_2$	۵۷۰$^{bb\text{-}kk}$	۸/۷۱$^{nn\text{-}uu}$	۱۱/۴۸$^{ff\text{-}nn}$
$p_{20}\ m_2\ t_3$	۵۵۱$^{mm\text{-}xx}$	۹/۴۹$^{j\text{-}p}$	۱۱/۳۱$^{gg\text{-}pp}$
$p_{20}\ m_2\ t_4$	۵۳۰$^{zz\text{-}iii}$	۸/۹۷$^{bb\text{-}jj}$	۱۱/۴۶$^{ff\text{-}oo}$
$p_{21}\ m_1\ t_1$	۶۱۹/۵$^{g\text{-}n}$	۶/۸۶^{iii}	۳/۸۳^{rr}

ویرایش‌نشده

$p_{21}\ m_1\ t_2$	۵۴۳/۵$^{pp\text{-}aaa}$	۸/۶۶$^{qq\text{-}xx}$	۱۱/۰۸$^{ll\text{-}pp}$
$p_{21}\ m_1\ t_3$	۵۲۵$^{bbb\text{-}jjj}$	۹/۳۴$^{p\text{-}v}$	۱۰/۷۹^{oopp}
$p_{21}\ m_1\ t_4$	۵۴۵/۵$^{oo\text{-}zz}$	۸/۴۱$^{yy\text{-}ccc}$	۱۱/۶۰$^{cc\text{-}ll}$
$p_{21}\ m_2\ t_1$	۵۹۲$^{s\text{-}z}$	۶/۹^{iii}	۴/۰۷^{rr}
$p_{21}\ m_2\ t_2$	۵۳۹/۵$^{tt\text{-}ddd}$	۸/۸۵$^{gg\text{-}pp}$	۱۱/۱۲$^{kk\text{-}pp}$
$p_{21}\ m_2\ t_3$	۵۱۹/۵$^{ggg\text{-}mmm}$	۹/۱۶$^{w\text{-}bb}$	۱۰/۸۴$^{nn\text{-}pp}$
$p_{21}\ m_2\ t_4$	۵۱۸/۵$^{ggg\text{-}nnn}$	۸/۶۹$^{oo\text{-}vv}$	۱۱/۰۸$^{ll\text{-}pp}$

حروف نشان‌دهنده سطوح معنی‌داری است. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت در بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ است.
حروف‌گذاری به ترتیب حروف a-z و سپس aa-zz و aaa-zzz انجام شده است.

ویرایشگاری نشده