

Desert Management

www.isadmc.ir



Innovative tree-planting techniques to enhance survival and growth of *Prosopis juliflora* (Sw.) DC in desertification control projects: A case study of degraded coastal lands in Hendijan, Khuzestan, Iran

Hadi Kargar Chigani ^{*1}, Forood Sharifi ²

1. Assistant Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

2. Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, (AREEO), Tehran, Iran.

* Corresponding Author: h.kargar@areeo.ac.ir

Received date: 04/02/2026

Accepted date: 31/05/2026



[10.22034/jdmal.2026.2074678.1526](https://doi.org/10.22034/jdmal.2026.2074678.1526)

Abstract

Biological methods are widely recognized as highly effective approaches for restoring degraded ecosystems. This study evaluated the effects of an innovative tree-planting technique on the survival and growth parameters of *Prosopis juliflora* (Swartz) DC. in the Dehno-Hendijan region, Iran. The local soil is characterized by a heavy texture, high salinity, and alkalinity, coupled with low organic matter content. To overcome these edaphic constraints, unsuitable soil in the planting pits was replaced with amendments—specifically fine sand—and integrated with various management techniques to enhance seedling establishment. Nine treatments were evaluated: (1) soil replacement with fine sand (FS), (2) FS combined with planting adjacent to a water source, (3) FS with shoot pruning, (4) FS with NPK fertilizer, (5) FS with potassium (K_2O) fertilizer, (6) FS with complete fertilizer, (7) a mixture of FS and superabsorbent polymer, (8) a mixture of FS and organic fertilizer, and (9) native field soil as the control. In autumn 2017, a total of 298 seedlings were planted using an unbalanced completely randomized design (CRD). Treatment effects on survival were analyzed using the Chi-square (χ^2) test, while growth parameters were evaluated via multivariate analysis and the General Linear Model (GLM). Mean comparisons and treatment groupings were performed using the Waller-Duncan and Gabriel tests. The results indicated that the treatments significantly influenced both the survival and growth indices of *P. juliflora* ($P < 0.01$). The highest survival rates were recorded in the FS + complete fertilizer (90%) and FS + NPK (87%) treatments. The maximum and minimum canopy volumes were observed in the FS + planting near a water source (4.35 m³) and FS + superabsorbent (1.64 m³) treatments, respectively. Based on a comprehensive scoring system, the FS + planting near a water source (score: 14) and FS + potassium fertilizer (score: 13) treatments achieved the highest rankings, identifying them as top priorities for eco-engineering and biological

Keywords: Biological restoration, Seedling establishment, Soil amendment, Pruning management, Foliar spraying

How to cite this article

Kargar Chigani, H. and Sharifi, F. (2026). Innovative tree-planting techniques to enhance survival and growth of *Prosopis juliflora* (Sw.) DC in desertification control projects: A case study of degraded coastal lands in Hendijan, Khuzestan, Iran. *Desert Management*, 13(4), 21-46. DOI: [10.22034/jdmal.2026.2074678.1526](https://doi.org/10.22034/jdmal.2026.2074678.1526)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Extended Abstract

Introduction

Natural deserts, covering approximately 40 million km², constitute the largest terrestrial biome on Earth (10). Iran, with a total surface area of 1.65 million km², lies within the global arid belt, and nearly 120,000 km² of its territory is covered by deserts and sand dunes (13). Khuzestan Province, located in southwestern Iran, is characterized by an arid climate (10) and encompasses approximately 12,700 km² of desert land, making it one of the primary dust-storm source regions in the country (13). The mean annual evaporation in this region is approximately 3000 mm, which exceeds the mean annual precipitation by nearly 13-fold (10). Driven by ongoing desertification and land degradation, these dust-emitting source areas are expanding at an accelerating rate (3). The compounding effects of climatic, edaphic, and anthropogenic factors—particularly intensive land use—have led to the recognition of the Dehno area as one of the most critical dust storm hotspots in Khuzestan Province (22). This region is characterized by heavy-textured, saline, and alkaline soils. These edaphic constraints, exacerbated by intense livestock grazing pressure, have not only severely degraded the natural vegetation cover but have also substantially hindered its natural recovery potential (26). Consequently, interventions aimed at enhancing vegetation cover and restoring degraded lands in this region are of paramount importance. Biological methods are widely recognized as highly effective, cost-effective, and sustainable solutions for rehabilitating such ecosystems (19). However, successful implementation requires overcoming the factors that limit vegetation growth and establishment (18) by applying soil amendments, such as fine sand, superabsorbent polymers, and organic or chemical fertilizers. *Prosopis juliflora* (Swartz) DC., a species of considerable ecological and economic importance in these ecosystems (5), has been extensively utilized in biological soil conservation and desertification control projects. The objective of the present study was to investigate the effects of innovative tree-planting techniques on the survival and growth indices of *P. juliflora* in the degraded areas of the Dehno–Hendijan region.

Materials and Methods

The study area, encompassing 500 hectares, is located in the Dehno region of Hendijan (southeastern Khuzestan Province), adjacent to the Persian Gulf coast (Fig 1). To mitigate edaphic constraints, unsuitable soil within the planting pits was replaced with soil amendments, primarily fine sand. This approach was integrated with several management techniques, including the application of superabsorbent polymers, chemical and organic fertilizers, the utilization of surface runoff potential, and the incorporation of indigenous pruning techniques from local communities. A total of nine treatments were implemented: (1) replacement of planting pit soil with 0.5–0.6 m³ of fine sand (FS); (2) FS combined with planting adjacent to water sources; (3) FS combined with shoot pruning; (4) FS combined with NPK fertilizer (Table 1); (5) FS combined with liquid potassium (K_2O) fertilizer; (6) FS combined with complete chemical fertilizer (Table 2); (7) a mixture of FS and 18–20 L of saturated superabsorbent hydrogel (Super AB A200); (8) a mixture of 0.4 m³ FS and 0.2 m³ organic fertilizer; and (9) planting in the native soil of the site, which served as the control.

The seedlings were planted in autumn 2017 to establish windbreaks using a specific configuration (Fig 2), employing an unbalanced completely randomized design (CRD) (Fig 3). The entire plantation was protected from livestock grazing until the end of the fifth year. All treatments received a total of seven irrigation events during the first two years of the experiment. At the end of the fifth year, seedling survival rates were determined, and growth parameters—including height, canopy cover, and shoot volume—were recorded for the surviving individuals. The effects of treatments on survival rates were assessed using Chi-square (χ^2) analysis, whereas their effects on growth parameters were evaluated via multivariate analysis within a General Linear Model (GLM) framework. Mean comparisons and treatment groupings were performed using the Waller–Duncan and Gabriel post hoc tests. To prioritize and recommend treatments for eco-engineering, erosion control, and dust mitigation practices, a comprehensive scoring system was developed based on survival categories, growth parameters, and overall treatment effectiveness.

Results and Discussion

At the end of the five-year monitoring period, 146 out of the 298 planted seedlings survived across all treatments (Fig 4). Statistical analyses indicated that the treatments significantly affected both seedling survival (Table 3) and the growth parameters of *Prosopis juliflora* ($P < 0.01$; Table 6). The lowest long-term survival rate was observed in the control treatment (0%), whereas the highest survival rates were recorded in the fine sand + complete fertilizer (90%) and fine sand + NPK fertilizer (87%) treatments (Table 4). The maximum growth parameters were achieved in the fine sand + planting adjacent to a water source

treatment, while the minimum values were associated with the fine sand + superabsorbent polymer mixture (Table 5). Based on the classification of mean growth parameters across treatments (Table 7), the fine sand + planting adjacent to a water source and fine sand + potassium (K_2O) fertilizer treatments achieved the highest overall scores (Fig 5). Consequently, these treatments were identified as top priorities for eco-engineering and biological restoration projects, respectively (Table 8).

In the present study, alleviating establishment constraints by replacing unsuitable root-zone soil with fine sand, combined with chemical fertilization, substantially improved the survival and growth parameters of *P. juliflora*. This approach represents a major improvement over historical planting methods implemented in the study area. Nevertheless, given the invasive potential of *P. juliflora* (27), its invasion dynamics and long-term ecological impacts warrant careful evaluation.

While all seedlings in the control treatment failed to survive, replacing unsuitable native soil with fine sand exerted a highly significant positive effect on seedling development. Previous studies have similarly reported that replacing surface soil with fine sand is an effective strategy for enhancing plant growth parameters (29) and biomass production (20). Fine sand improves soil physicochemical properties (15), mitigates the adverse effects of solar radiation and wind exposure, decreases evaporation rates (33) and soil salinity, enhances soil moisture retention, and regulates plant-available water (14).

However, utilizing fine sand as a soil amendment requires an adequate nutrient supply through fertilization. Integrating fine sand replacement with potassium (K_2O) fertilizer effectively alleviated the nutrient deficiencies of the fine sand substrate and improved the performance of *P. juliflora*, consistent with findings reported by previous studies (24). Beyond its diverse physiological roles, potassium plays a critical role in enhancing plant productivity (4), regulating osmotic pressure, increasing water uptake (24), and bolstering resistance to environmental stresses (7).

In numerous previous studies, increased plant-available water has been identified as a key determinant of success in afforestation and restoration projects involving desert species (6, 30). Consistent with this body of literature, combining fine sand replacement with planting adjacent to water-harvesting canals in the present study enhanced soil moisture availability, ultimately resulting in the highest canopy cover and shoot volume for *P. juliflora*.

Keywords: Biological restoration, Seedling establishment, Soil amendment, Pruning management, Foliar spraying

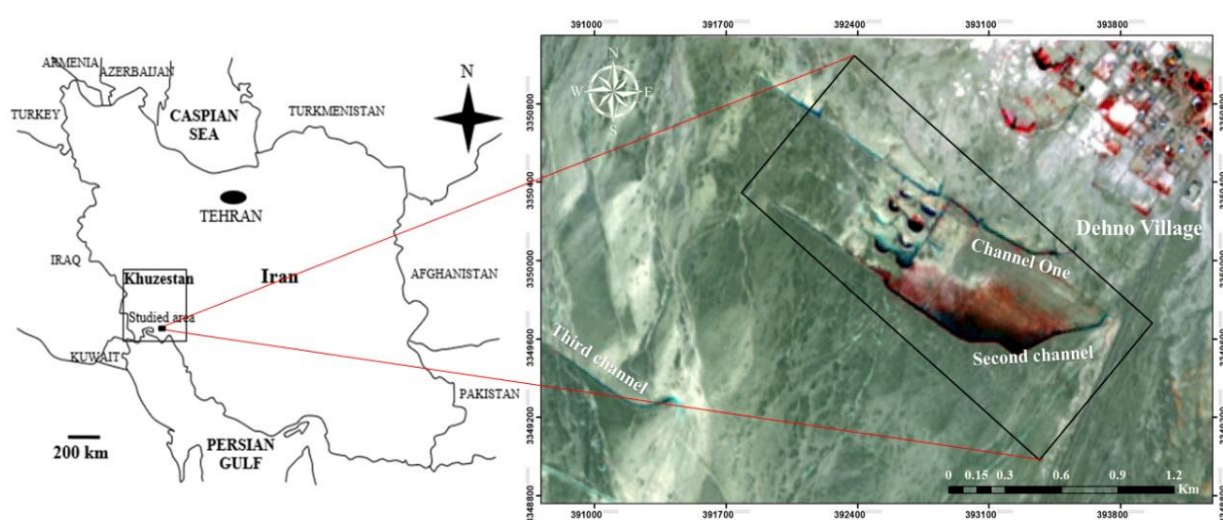


Fig 1. Geographic location of the study area in Khuzestan Province, Iran, showing the excavated water-harvesting channels on a Sentinel satellite image (2021).

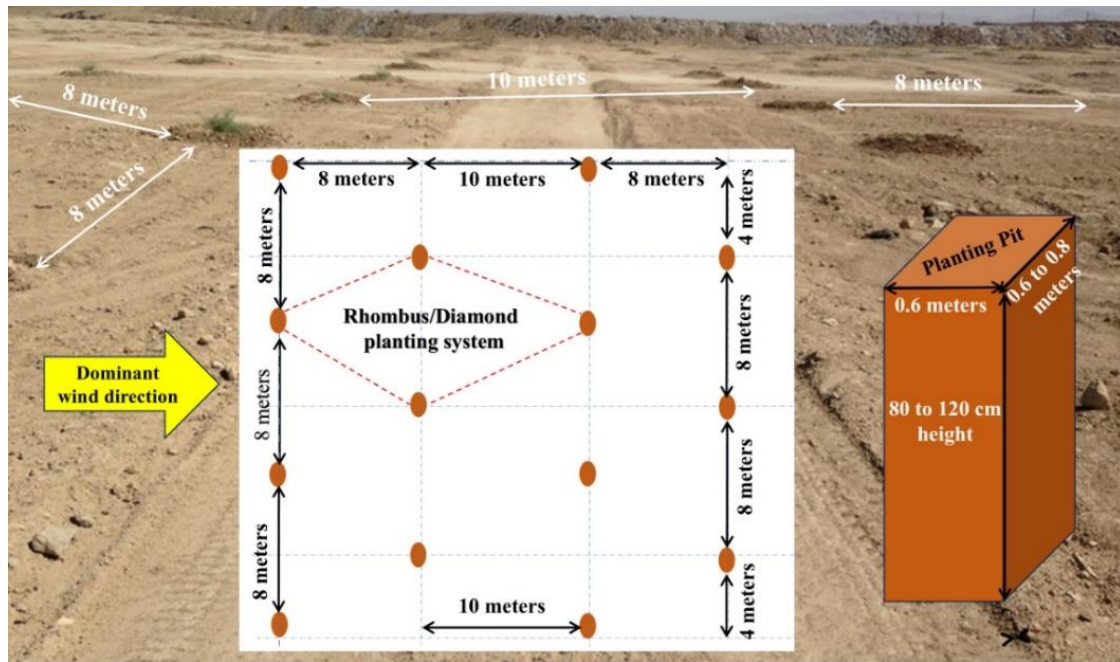


Fig 2. Schematic representation of the planting system, illustrating the spacing and dimensions of planting rows and pits implemented in the Dehno–Hendijan region.

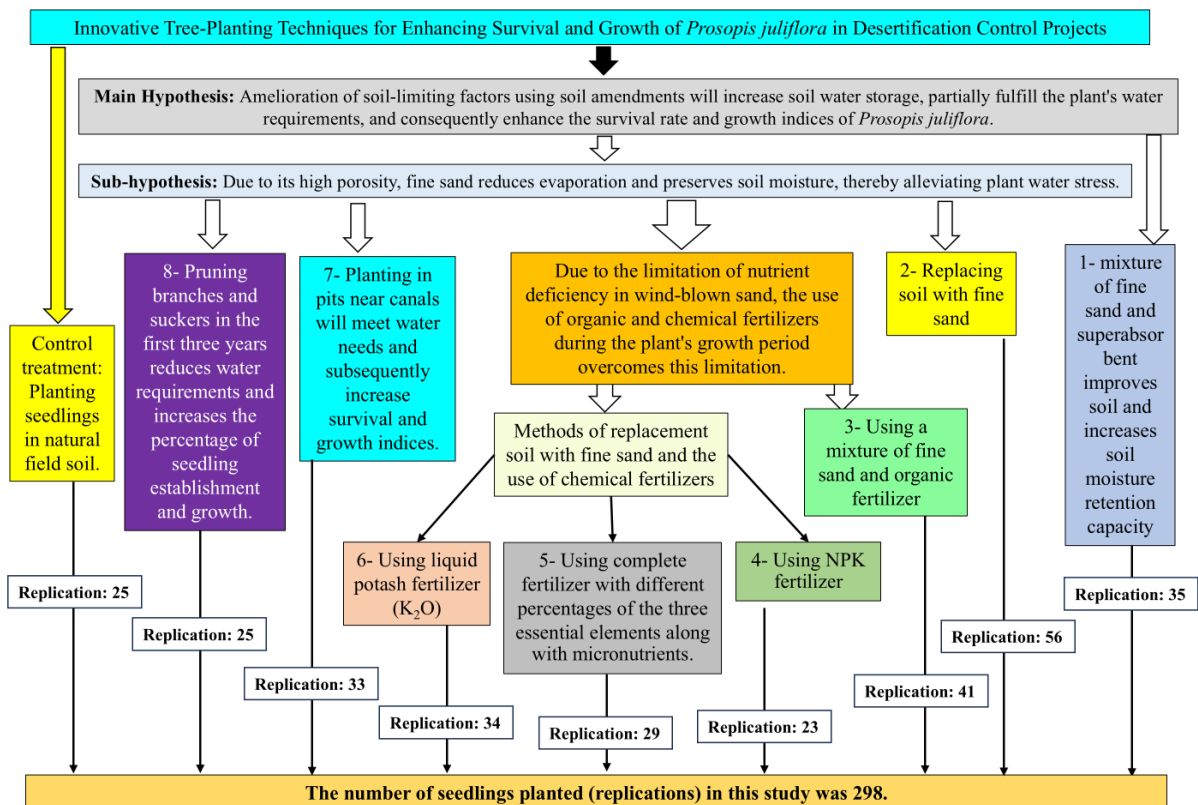


Fig 3. Flowchart illustrating the experimental design and the evaluated treatments.

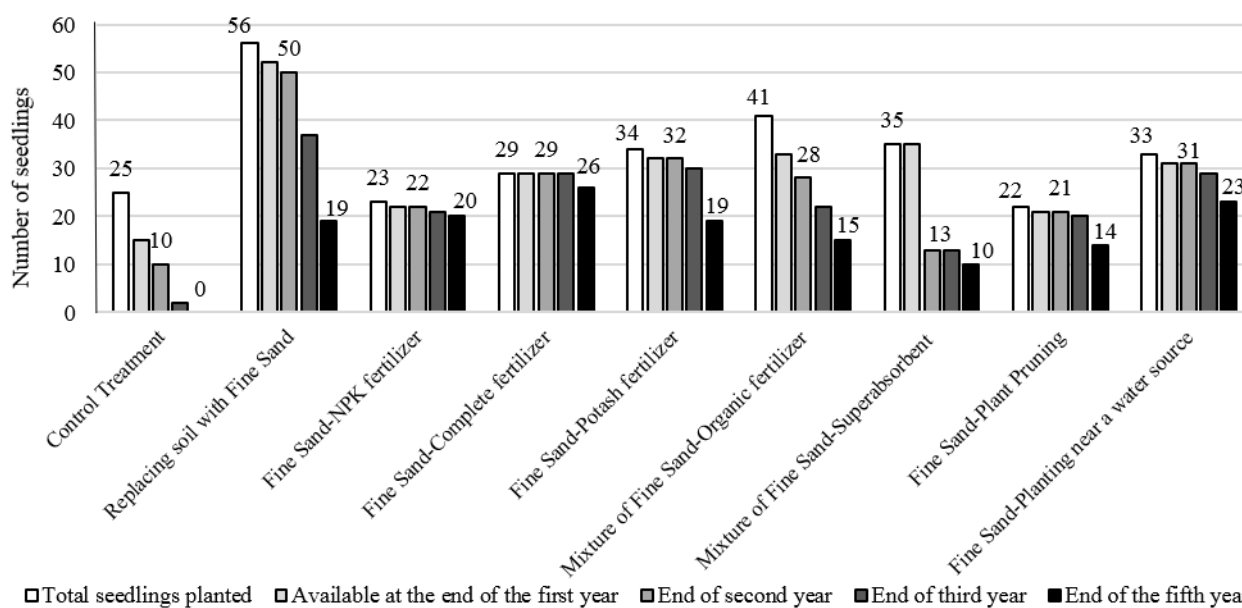


Fig 4. Temporal trends in the survival number of *Prosopis juliflora* seedlings across different treatments during the five-year study period.

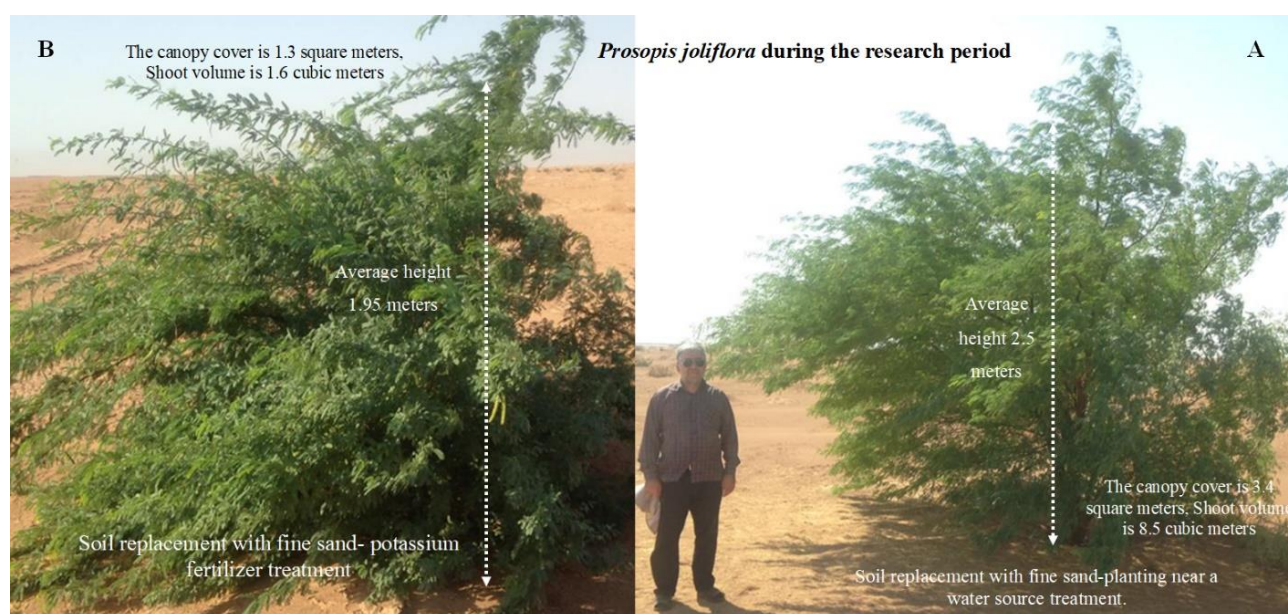


Fig 5. *Prosopis juliflora* at the Dehno–Hendijan study site at the end of the fifth year: (A) seedlings under the fine sand + planting adjacent to a water source treatment, and (B) seedlings under the fine sand + potassium (K_2O) fertilizer treatment.

Table 1. Physicochemical characteristics and nutrient composition of the NPK fertilizer utilized in the Dehno–Hendijan study.

Element	Percentage	Effect on the plant
Nitrogen (N)	20	Increased vegetative growth and greenness of leaves
Phosphorus (P)	20	Enhance rooting and flowering
Potassium (K)	20	Increased resistance to stresses (drought and cold)
Iron (Fe)	High	Prevention of leaf chlorosis (iron deficiency) and activation of respiratory enzymes
Micronutrients (TE)	Low	Improving enzyme function (zinc, manganese, copper ,boron, molybdenum.)

Table 2. Composition and physicochemical characteristics of the complete fertilizer utilized in the study (*: EDTA-chelated micronutrients).

Element	Amount (g/liter)	The main effect on the plant
Nitrogen (N)	100	Improving vegetative growth and leaf greenness
Phosphorus (P ₂ O ₅)	40	Root development and enhancement of rooting, flowering, and protein and chlorophyll synthesis
Potassium (K ₂ O)	70	Stress resistance and increased seedling tolerance to salinity and drought
Magnesium* (Mg)	1.8	Chlorophyll activator and activation of respiratory and photosynthetic enzymes
Manganese* (Mn)	1.3	Improving photosynthesis (maintaining leaf greenness in dry conditions), enzymes (reducing oxidative stress caused by heat and salinity), and lignin production (increasing stem strength)
Copper* (Cu)	1	Activation of the respiratory enzyme cytochrome oxidase and the anti-stress enzyme superoxide dismutase, and the production of chlorophyll and electron transfer in the photosystem.
Zinc* (Zn)	0.7	Synthesis of hormones, especially the production of auxin (root growth hormone), reduces oxidative stress caused by drought, regulates the absorption of sodium (Na ⁺) and potassium (K ⁺), and reduces toxicity caused by soil salinity
Boron (B)	0.2	Cell division and helping seedlings survive in saline soils, lateral root growth, and salt tolerance
Iron* (Fe)	0.07	Chlorophyll synthesis, prevention of leaf yellowing (iron chlorosis), and activation of respiratory enzymes
Molybdenum (Mo)	0.03	Fixing nitrogen and facilitating the absorption and transfer of phosphorus, which in turn promotes better root growth.

Table 3. Chi-square (χ^2) test results for the comparison of *Prosopis juliflora* seedling survival among different treatments.

Tests Chi-Square	Value	df	(sided- τ) Asymptotic Significance
Pearson Chi-Square	78.111 ^a	8	1.17232E-13
Likelihood Ratio	92.43204537	8	1.49055E-16
Linear-by-Linear Association	50.44815974	1	1.22354E-12
N of Valid Cases			298

Table 4. Initial establishment and long-term survival rates of *Prosopis juliflora* seedlings under various treatments.

treatment * survived Crosstabulation		Initial establishment rate	survived		Total
			surviving	Mortality	
Control Treatment ^{1*}	Count	40	0	25	25
	% within treatment		0.0%	100%	100%
	% of Total		0.0%	8.4%	8.4%
Mixture of Fine Sand-Superabsorbent ¹	Count	37	10	25	35
	% within treatment		28.6%	71.4%	100%
	% of Total		3.4%	8.4%	11.7%
Replacing soil with Fine Sand ^{2*}	Count	89	19	37	56
	% within treatment		33.9%	66.1%	100%
	% of Total		6.4%	12.4%	18.8%
Mixture of Fine Sand-Organic fertilizer ²	Count	68	15	26	41
	% within treatment		36.6%	63.4%	100%
	% of Total		5.0%	8.7%	13.8%
Fine sand-Potash fertilizer ^{3*}	Count	94	19	15	34
	% within treatment		55.9%	44.1%	100%
	% of Total		6.4%	5.0%	11.4%
Fine Sand-Plant Pruning ³	Count	95	14	8	22
	% within treatment		63.6%	36.4%	100%
	% of Total		4.7%	2.7%	7.4%
Fine Sand-Planting near a water source ³	Count	94	23	10	33
	% within treatment		69.7%	30.3%	100%
	% of Total		7.7%	3.4%	11.1%
Fine Sand-NPK fertilizer ^{4*}	Count	96	20	3	23
	% within treatment		87.0%	13.0%	100%
	% of Total		6.7%	1.0%	7.7%
Fine Sand-Complete fertilizer ⁴	Count	100	26	3	29
	% within treatment		89.7%	10.3%	100%
	% of Total		8.7%	1.0%	9.7%
Total	Count	79	146	152	298
	% within treatment		49%	51%	100%

* Survival classes are rated on a scale of 1 (Poor), 2 (Moderate), 3 (Good), and 4 (Excellent).

Table 5. Growth parameters of *Prosopis juliflora* seedlings under different treatments

Treatments	Growth Indices	Mean±Std. Deviation	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis	Normality
Mixture of Fine Sand-Superabsorbent	height (m)	1.23±0.14	1.05	1.45	0.36	-1.27	0.52
	canopy (m ²)	1.31±0.49	0.63	2.00	0.24	-1.01	0.32
	Shoot volume (m ³)	1.65±0.7	0.66	2.80	0.21	-0.95	0.81
Replacing soil with Fine Sand	height (m)	1.35±0.24	0.85	1.70	-0.24	-0.60	0.60
	canopy (m ²)	1.73±0.55	0.68	2.75	0.33	-0.36	0.47
	Shoot volume (m ³)	2.35±0.93	1.16	4.23	0.86	-0.24	0.05
Mixture of Fine Sand-Organic fertilizer	height (m)	1.48±0.2	1.20	1.90	0.57	-0.46	0.50
	canopy (m ²)	2±0.7	1.17	3.30	0.69	-0.92	0.06
	Shoot volume (m ³)	3±1.2	1.61	5.82	1.05	0.60	0.12
Fine Sand-Plant Pruning	height (m)	1.5±0.26	1.20	1.95	0.52	-1.17	0.14
	canopy (m ²)	2±0.7	0.81	2.94	-0.14	-1.15	0.63
	Shoot volume (m ³)	3.1±1.4	1.02	5.52	0.40	-0.97	0.40
Fine Sand-NPK fertilizer	height (m)	1.32±0.25	0.95	1.71	-0.09	-1.24	0.22
	canopy (m ²)	2.31±0.77	1.17	3.46	0.26	-1.16	0.12
	Shoot volume (m ³)	3.17±1.5	1.28	5.91	0.56	-0.86	0.06
Fine sand-Potash fertilizer	height (m)	1.54±0.3	1.10	2.20	0.62	-0.39	0.19
	canopy (m ²)	2.49±0.51	1.63	3.43	0.28	-0.76	0.77
	Shoot volume (m ³)	3.8±0.9	2.40	5.43	0.23	-0.94	0.63
Fine Sand-Complete fertilizer	height (m)	1.5±0.21	1.15	1.90	0.28	-0.74	0.32
	canopy (m ²)	2.58±0.99	0.98	4.32	0.21	-0.86	0.41
	Shoot volume (m ³)	4.01±1.9	1.13	8.21	0.67	-0.41	0.10
Fine Sand-Planting near a water source	height (m)	1.7±0.29	1.25	2.30	0.74	-0.30	0.11
	canopy (m ²)	2.6±1	1.12	4.49	0.36	-0.90	0.18
	Shoot volume (m ³)	4.3±1.9	1.40	7.21	0.08	-1.46	0.08

Table 6. General Linear Model (GLM) results for the effects of treatments on the growth parameters of *Prosopis juliflora*.

Tests of Between-Subjects Effects		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	height (m)	2.219 ^a	7	0.32	5.1	0.000
	canopy (m ²)	22.287 ^b	7	3.2	5.2	0.000
	Shoot volume (m ³)	88.929 ^c	7	12.7	5.8	0.000
Intercept	height (m)	283.1	1	283.1	4580.8	0.000
	canopy (m ²)	609.95	1	609.95	1003.2	0.000
	Shoot volume (m ³)	1362.5	1	1362.5	625.5	0.000
treatment	height (m)	2.2	7	0.32	5.1	0.000
	canopy (m ²)	22.3	7	3.2	5.2	0.000
	Shoot volume (m ³)	88.9	7	12.7	5.8	0.000

Table 7. Mean comparisons and groupings of *Prosopis juliflora* growth parameters under different treatments using the Waller–Duncan and Gabriel post hoc tests.

Treatments	Homogeneous groups extracted from the Waller-Duncan and Gabriel tests												General effect
	height (m)				Canopy Cover (m ²)				Shoot volume (m ³)				
	1*	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Mixture of Fine Sand-Superabsorbent	1.23				1.31				1.64				Poor
Fine sand-NPK fertilizer	1.32				1.73				2.35				Poor
Replacing with fine sand	1.35					2				3.02			Moderate
Mixture of Fine Sand-Organic fertilizer		1.48				2.03				3.13			Moderate
Fine sand-Complete fertilizer		1.5					2.31			3.17			Moderate
Fine Sand-Plant pruning		1.52					2.49				3.79		Good
Fine Sand-Potash fertilizer			1.54					2.58				4	Excellent
Fine Sand-Planting near a water source				1.66				2.59				4.35	Excellent
Meaningfulness according to Gabriel's test	0.05	0.29	0.34	0.66	0.12	0.29	0.06	0.39	0.08	0.13	0.21	0.24	-

* Growth indices classes are rated on a scale of 1 Poor, 2 Moderate, 3 Good, and 4 Excellent.

Table 8. Ranking and prioritization of various tree-planting techniques based on the evaluated growth and survival parameters.

Treatments	Plant indicators				General effect	Total scores*	Ranking
	survival	height	Canopy Cover	Shoot volume			
Mixture of Fine Sand-Superabsorbent	Poor	Poor	Poor	Poor	Poor	0	Not a priority
Fine sand-NPK fertilizer	Excellent	Poor	Poor	Poor	Poor	3	Not a priority
Replacing soil with fine sand	Moderate	Poor	Moderate	Moderate	Moderate	4	Third priority in biological methods.
Mixture of Fine Sand-Organic fertilizer	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	5	Third priority in biological methods
Fine sand-Complete fertilizer	Excellent	Moderate	Good	Moderate	Moderate	8	Second priority in biological methods
Fine Sand-Plant pruning	Good	Moderate	Good	Good	Good	9	Second priority in biological methods
Fine Sand-Potash fertilizer	Good	Good	Excellent	Excellent	Excellent	13	Priority in biological methods
Fine Sand-Planting near a water source	Good	Moderate	Excellent	Excellent	Excellent	14	Priority in biomechanical methods

* Scoring was based on a 0–3 scale, where 0 = Poor, 1 = Moderate, 2 = Good, and 3 = Excellent.

ارزیابی روش‌های نوین نهالکاری برای افزایش زنده‌مانی و رشد *Prosopis juliflora* (Swartz) DC. در پروژه‌های بیابان‌زدایی در عرصه‌های تخریب‌شده ساحلی هندیجان، خوزستان، ایران

هادی کارگر چیگانی^{۱*}، فرود شریفی^۲

۱. استادیار گروه هیدرولوژی و توسعه منابع آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۲. استاد گروه هیدرولوژی و توسعه منابع آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: h.kargar@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۰

doi: [10.22034/jdmal.2026.2074678.1526](https://doi.org/10.22034/jdmal.2026.2074678.1526)

چکیده

روش زیستی (بیولوژیک) موثرترین شیوه برای احیاء عرصه‌های تخریب شده است. هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر روش‌های گوناگون نهالکاری بر نرخ بقا و شاخص‌های رشد *Prosopis juliflora* در منطقه دهنو هندیجان بود. خاک منطقه به‌نسبت سنگین، شور و قلیا و حاوی ماده آلی کم است. برای رفع این محدودیت‌ها اقدام به جایگزینی خاک نامناسب چاله‌کشت با موارد اصلاح‌کننده به‌ویژه ماسه‌بادی شد و با برخی روش‌های موثر در استقرار پوشش گیاهی تلفیق شد. در مجموع، نه تیمار شامل: ۱- تعویض خاک با ماسه‌بادی، ۲- ماسه‌بادی-کشت نزدیک منبع آب، ۳- ماسه‌بادی-هرس گیاه، ۴- ماسه‌بادی و استفاده از کودهای NPK، ۵- پتاس مایع، ۶- کود کامل، ۷- مخلوط ماسه‌بادی-سوپرجاذب، ۸- مخلوط ماسه‌بادی-کودآلی، و ۹- کشت در خاک طبیعی عرصه به‌عنوان تیمار شاهد، اجرا شد. در مجموع ۲۹۸ نهال کهور در تیمارهای مختلف در قالب طرح کاملاً تصادفی نامتعادل در پاییز کشت شد. در پایان سال پنجم نرخ بقا، ارتفاع، تاج‌پوشش و حجم‌اندام‌هوایی نهال‌های زنده اندازه‌گیری شد. معنی‌داری تأثیر تیمارها بر نرخ بقا با تجزیه کای اسکوتر، و معنی‌داری تیمارها بر شاخص‌های گیاهی با تجزیه چندمتغیره (GLM) واکاوی شد. برای مقایسه میانگین شاخص‌های رشد و گروه‌بندی تیمارها، از آزمون والر-دانکن و گابریل استفاده شد. یافته‌ها نشان داد، تیمارها تأثیر معنی‌داری بر زنده‌مانی و شاخص‌های رشد کهور داشتند ($\text{Sig} < 0.01$). بیشترین نرخ بقا در دو تیمار ماسه‌بادی-کود کامل ۹۰٪ و ماسه‌بادی-NPK ۸۷٪ ثبت شد. در تیمارهای ماسه‌بادی-کشت نزدیک منبع آب و مخلوط ماسه‌بادی-سوپرجاذب به‌ترتیب با ۱/۶۴ و ۴/۳۵ m^3 بیشترین و کمترین مقدار حجم گیاه اندازه‌گیری شد. روش‌های ماسه‌بادی-کشت نزدیک منبع آب و ماسه‌بادی-کود پتاس، به‌ترتیب با امتیاز ۱۴ و ۱۳ به‌عنوان اولویت اول توسعه در پروژه‌های زیست‌مهندسی (بیومکانیک) و زیستی معرفی شدند. یافته‌ها نشان داد با اصلاح روش‌های نهالکاری قبلی و جایگزینی ماسه‌بادی در محدوده ریشه گیاه همزمان با بهره‌گیری از کودهای شیمیایی، درصد موفقیت روش‌های مبارزه زیستی در استقرار گیاه کهور در عرصه‌های تخریب شده با خاک سنگین را به‌طور معنی‌دار افزایش می‌دهد.

واژگان کلیدی: اندام‌هوایی؛ حجم گیاه؛ کود پتاس مایع؛ اصلاح خاک؛ هرس؛ محلول‌پاشی کود.

استناد به این مقاله

کارگر، چیگانی هادی، شریفی، فرود. (۱۴۰۴). ارزیابی روش‌های نوین نهالکاری برای افزایش زنده‌مانی و رشد *Prosopis juliflora* (Swartz) DC. در پروژه‌های بیابان‌زدایی در عرصه‌های تخریب‌شده ساحلی هندیجان، خوزستان، ایران. مدیریت بیابان، ۱۳(۴)، ۲۱-۴۶. DOI: [10.22034/jdmal.2026.2074678.1526](https://doi.org/10.22034/jdmal.2026.2074678.1526)



■ مقدمه

مناطق خشک در سطح دنیا حدود یک سوم سطح زمین را پوشش می‌دهند و در قاره‌های مختلف وجود دارند. بارش کم، دمای و تبخیر بالا، کمبود شدید رطوبت و همچنین فراوانی زیاد توفان‌های گرد و غبار، معرف آن است (۱۶). بیابان‌های طبیعی با مساحتی تقریباً $40,000,000 \text{ km}^2$ یکی از بزرگترین زیست بوم جهان را تشکیل داده‌اند و گسترش آن یکی از دشواری‌های بزرگ بشر است (۱۰). ایران نیز در کمربند خشک جهانی قرار دارد و $64/5\%$ از مساحت آن زیر تأثیر شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک با بارندگی کمتر از 250 mm است. درصد زیادی از کل مساحت کشور را بیابان‌ها و تپه‌های ماسه‌ای تشکیل می‌دهند که در استان‌های مختلف پراکنده شده‌اند (۱۳). این وسعت به دلیل پدیده تخریب سرزمین به طور فزاینده‌ای روبه گسترش است. علاوه بر این در دهه‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی و عوامل انسانی، پدیده فرسایش بادی و برخاست گردوغبار در ایران تشدید یافته‌است (۳). تأثیر توفان‌های گرد و غبار ممکن است تا فاصله 400 km از منبع اصلی ادامه و موجب اثرهای محیط‌زیستی و خسارات فراوان شود (۳۱).

استان خوزستان واقع در جنوب غربی ایران دارای آب و هوای خشک است که از کوه‌های زاگرس در شمال و دشت‌های سیلابی در جنوب تشکیل شده‌است (۱۰) و با 12700 km^2 عرصه بیابانی یکی از استان‌های آسیب‌پذیر ایران است (۱۳). دمای زیاد و تبخیر پتانسیل در حدود 3000 mm در سال است که در حدود ۱۳ برابر بارندگی سالانه (200 mm) است (۱۰). بادهای به نسبت شدید، سازندهای املاح‌دار در بخش‌های مختلف، تخریب پوشش گیاهی، بهره‌برداری‌های زیاد، افزایش روند بیابان‌زایی، و ایجاد کانون‌های بحرانی گردوغبار، موجب دشواری‌های محیط‌زیستی در این استان شده‌است (۱۰، ۳). از کانون‌های مهم تولید گردوغبار در جنوب شرق این استان، منطقه دهنو شهرستان هندیجان واقع در سواحل خلیج فارس است (۲۶). بیشتر خاک‌های تخریب شده در مناطق خشک و بیابانی دارای بافت سنگین با شور و

قلیائیت زیاد هستند. منطقه دهنو دلیل وجود سازند آجاجاری متشکل از رسوبات ریزدانه مارنی و گچی در بالادست و همچنین فرسایش شدید، دارای بافت خاک نسبتاً سنگین است. همچنین همجواری با خلیج فارس و بالا بودن سطح ایستابی آب موجب تشکیل خاک شور و قلیا در عرصه شده است. از طرفی کمبود بارش و بالا بودن دما و تبخیر و سیستم بادهای جنوبی و غربی، بویژه در فصل بهار و تابستان موجب کاهش رطوبت خاک، افزایش نیاز آبی و در نهایت بروز تنش خشکی شدید شده‌است. عوامل محدود کننده در کنار عوامل انسانی بویژه شدت چرای دام موجب شده علاوه بر تخریب پوشش گیاهی طبیعی، امکان استقرار مجدد پوشش گیاهی نیز کاهش یابد (۲۶).

بهترین، کم هزینه‌ترین و بادوام‌ترین شیوه برای احیاء اینگونه مناطق اجرای روش‌های زیستی است. اقدام‌های زیستی مستلزم استفاده از روش‌های کارآمد برای رفع عوامل محدود کننده رشد و استقرار پوشش گیاهی است (۱۸، ۱۹). به منظور توسعه پوشش گیاهی در این مناطق، استفاده از مواد اصلاح‌کننده فیزیکی خاک نقش موثری دارد. استفاده از ماسه‌بادی به عنوان یک ماده اصلاح‌کننده فیزیکی خاک‌های رسی موجب سبک‌تر شدن بافت، بهبود تهویه و زهکشی خاک و تسهیل عبور آب در خاک می‌شود. استفاده از ماسه به صورت مالچ سطحی برای کاهش تبخیر و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و نیز کاهش فرسایش‌پذیری خاک کاربرد زیادی در مناطق خشک دارد (۱۵). نتایج برخی بررسی‌ها بویژه در استان سیستان و بلوچستان، نشان داده که ماسه‌بادی می‌تواند به حفظ رطوبت و کاهش تنش خشکی در گیاهان کمک کند (۱۴). تخلخل ماسه‌بادی منجر به افزایش خلل و فرج خاک و متعاقباً اکسیژن‌رسانی بهتر به گیاه و افزایش رشد و کاهش احتمال پوسیدگی ریشه می‌شود. لذا از این روش در پروژه‌های نهالکاری استفاده می‌گردد. همچنین در چین برای جلوگیری از تبخیر و حفظ رطوبت خاک از روش پاشیدن لایه شنی بر روی خاک به صورت مالچ استفاده می‌شود (۳۳).

یکی از مهمترین گونه‌های درختی استان‌های جنوبی کشور، گونه کهور پاکستانی یا آمریکایی با نام علمی

در خاک افزایش یافته و متعاقباً درصد زنده‌مانی، و عملکرد نهال‌ها در پروژه‌های زیستی افزایش می‌یابد. لذا هدف اصلی پژوهش حاضر تعیین مناسبترین روش‌های استقرار پایدارگونه *P. juliflora* برای احیاء عرصه‌های تخریب‌شده در کانون بحرانی گرد و غبار دهنو شهرستان هندیجان است.

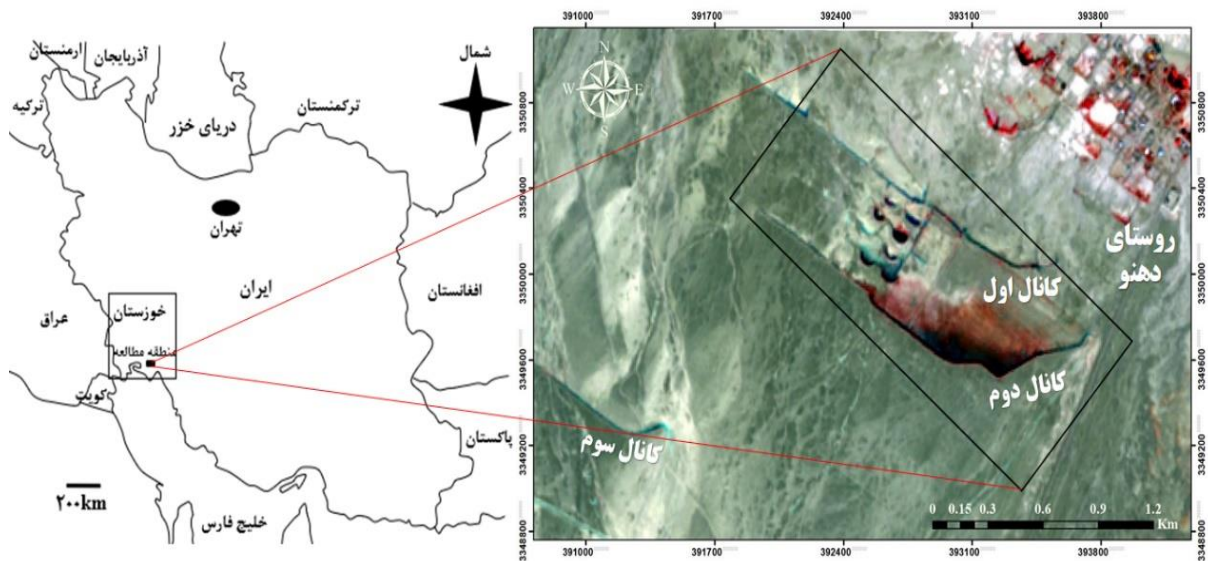
■ مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی به وسعت ۵۰۰ha در اطراف روستای دهنو در شرق شهرستان هندیجان استان خوزستان و در فاصله ۱۰km ساحل خلیج فارس واقع شده‌است. این منطقه از نوع دشت‌های ساحلی و به‌عنوان یکی از کانون‌های بحرانی گردو غبار خوزستان است. این منطقه در زون ۳۹ با طول شرقی ۳۸۶۲۲۰ تا ۳۹۶۸۰۴m و عرض شمالی ۳۳۵۲۷۹۸ تا ۳۳۵۳۱۲۹m واقع شده است. متوسط بارش سالانه ۲۰۰mm و میانگین دمای سالانه ۲۴/۹C° و میانگین درجه حرارت کمینه و بیشینه به‌ترتیب ۱۶/۷C° و ۳۳C° و براساس روش دومارتن اقلیم منطقه نیمه‌خشک و گرم است. در طرح اصلی اجرا شده در منطقه با رویکردی چندجانبه شامل استفاده توامان از روش‌های مهندسی، زیست مهندسی و زیستی پخش‌سیلاب، اقدام‌های متنوعی از جمله، حفر سه ردیف کانال‌های جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب به‌صورت پلکانی به‌منظور استفاده از بارش‌ها و سیلاب‌های فصلی و استحصال آب، آب‌شویی خاک شور و شیرین‌سازی آب زیرسطحی و غیره اجرا شد. کانال‌ها با استفاده از بیل مکانیکی، عمود بر برای جریان سیلابی با طول متفاوت و عمق متوسط ۴ و عرض متوسط ۳ تا ۴m و با حجم حدوداً ۶۰۰۰۰m^۳، حفر شده‌اند (۲۶). پروژه نهالکاری در پشت کانال‌های اول و دوم اجرا شد (شکل ۱).

Prosopis juliflora (Swartz) DC است که از دیدگاه اکولوژی و اقتصاد اهمیت زیادی دارد (۵). این گونه همیشه سبز از خانواده Fabaceae بومی آمریکای جنوبی به‌ویژه مکزیک است و از آنجا به قاره‌های دیگر منتقل و کشت شده است. در دهه‌های اخیر برای ایجاد فضای سبز، تثبیت زیستی ماسه‌های روان و کنترل توفان‌های گرد و غبار کهور در بخش‌های جنوب‌غربی، جنوبی تا جنوب‌شرقی ایران کشت می‌شود. بررسی‌های متفاوتی راجع به تأثیر این گونه بر محیط‌زیست و پوشش گیاهی انجام‌شده است که تا حدودی حاوی مطالب متناقض است. برخی محققان اظهار کرده‌اند، کهور پاکستانی علاوه بر این‌که از طریق تاج پوشش موجب حفاظت خاک می‌شود (۱)، با ایجاد ناهمواری در سطح زمین موجب کاهش سرعت و تلاطم باد و در نتیجه کاهش شدت فرسایش بادی نیز می‌شود (۲۱). کهور به دلیل تاج پوشش بزرگ، ایجاد اشکوب علفی در زیر تاج، تولید لاشبرگ زیاد، و جلوگیری از برخورد قطرات باران، امکان فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک را افزایش داده و موجب پایداری خاک و جلوگیری از فرسایش می‌شود. علاوه بر این تجزیه لاشبرگ موجب بازگشت مواد آلی به خاک و بهبود چرخه عناصر غذایی می‌شود (۶). البته برخی محققین *P. juliflora* را یکی از گونه‌های مهاجم ایران معرفی کرده‌اند که گستره بزرگی از جنوب و جنوب‌شرق ایران را تحت کنترل خود درآورده است (۱۲). تأثیر این گونه به حدی است که گاهی گونه غالب و در مواردی تنها گونه درختی در بوم‌سازگان‌های ساحلی جنوب ایران به شمار می‌آید (۱۱). دشواری حذف این گونه از بوم‌سازگان بیشتر به دلیل تحمیل هزینه‌های اقتصادی و ناتوانی در استقرار دیگر گونه‌ها و تثبیت مجدد گیاهان بومی است (۲).

در مجموع فرضیه اصلی در پژوهش حاضر بدین گونه طرح شد که، با تعویض خاک نامناسب با برخی مواد اصلاح کننده در محدوده ریشه، علاوه بر اصلاح خاک، ذخیره آب



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و کانال‌های حفر شده بر روی تصویر ماهواره‌ای سنتینل در سال ۲۰۲۱

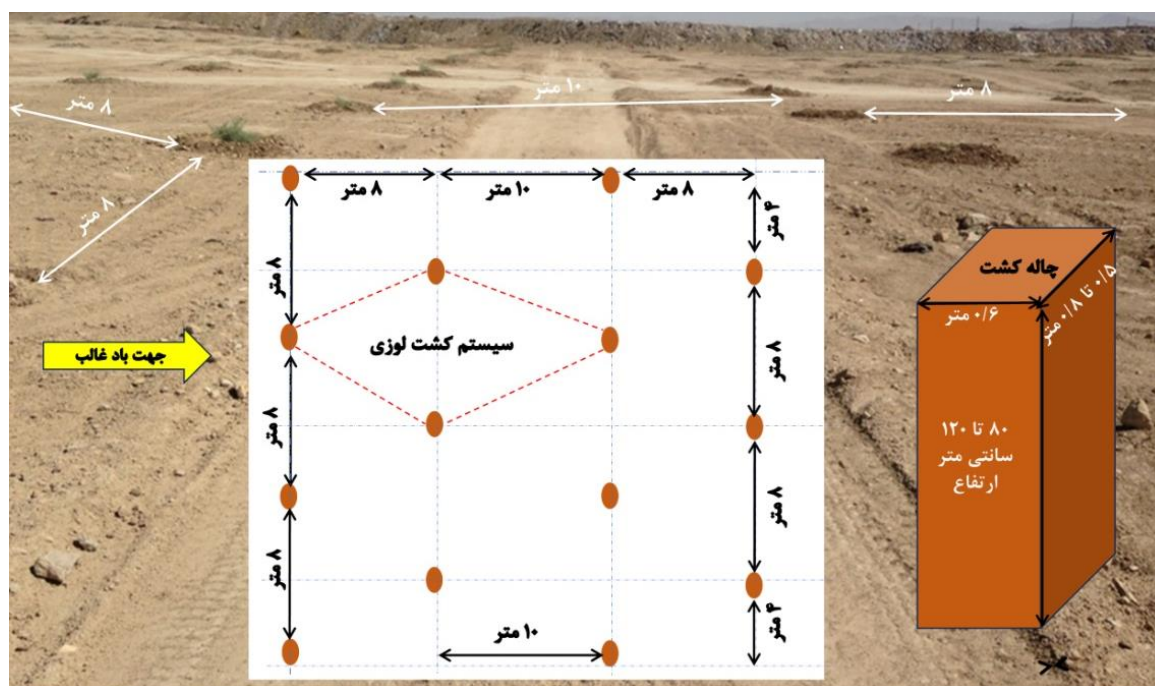
عرصه‌های طبیعی و گنار *Zizyphus spina-christi* (L.) Desf. به صورت دست‌کاشت در اراضی زراعی مشاهده شد. به دلیل حضور *P. juliflora* در فلور منطقه و کاربرد آن در پروژه‌های زیستی، برای توسعه پوشش و نهال‌کاری انتخاب شد. در این پژوهش، نهال‌های کهور به صورت یک‌ساله از نهالستان‌های اطراف منطقه تهیه شد.

روش‌های مختلف نهالکاری

در انتهای پاییز سال ۱۳۹۶ نهالکاری با گونه کهور به شرح ذیل آغاز شد:

- ۱- ردیف‌های کشت به صورت بادشکن بر اساس سرعت باد و عمود بر برای باد غالب طراحی شد.
- ۲- سیستم کشت به صورت لوزی با فواصل ردیف‌ها ۸m و ۱۰m به صورت متناوب و فاصله داخل ردیف‌ها ۸m در نظر گرفته شد و گودال‌های در ردیف‌های کشت به شکلی جانمایی شدند که با هم همپوشانی کامل داشته باشند (شکل ۲).
- ۳- با استفاده بیل مکانیکی تعداد ۱۰۰ الی ۱۲۵ گودال در هکتار، با ابعاد ۶۰cm سانتی‌متر عرض و ۵۰ تا ۸۰cm طول و عمق ۸۰ تا ۱۲۰cm حفر و خاک نامناسب داخل چاله به‌طور کامل تخلیه شد (شکل ۲).

خاک محدوده مطالعاتی پوشیده از رسوبات ریزدانه با متوسط اسیدیته pH ۸/۲۶ و قلیایی، هدایت الکتریکی عصاره‌اشباع (Ec) ۵۸/۸dS/m، و مواد آلی (OC) ۰/۳۴٪ است. همچنین مقدار سدیم خاک زیاد و ۴۰۱mEq/L اندازه‌گیری شد. در مجموع، خاک منطقه فقیر با بافت نسبتاً سنگین و تا حدودی شور و قلیاست که منجر به کاهش پوشش گیاهی طبیعی و محدودیت در استقرار پوشش دست‌کاشت شده‌است. کاربری گذشته منطقه به صورت مرتع بوده ولی چرای دام و بوته‌کشی موجب شده‌است در حال حاضر جزء عرصه‌های تخریب‌شده به حساب آید. گونه غالب منطقه اشنان *Sidlitzia rosmarinus* (Ehrenb.) Bge. ex Boiss. که قبل از اجرای نهال‌کاری آثار و بقایای تخریب‌شده آن مشاهده شد. در مسیر آبراهه‌ها و نواحی مرطوب گونه‌هایی از جنس گز شامل *Tamarix leptopetala* Bunge و *Tamarix passerinoides* Delile ex Desv. و در خاک‌های شور و قلیا *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M.Bieb. و در عرصه‌های تخریب‌شده لگجی یا کور *Capparis spinosa* L. و در دیم‌زارهای رها شده اطراف روستا خارشتر *Alhagi mannifera* Desv. حضور داشتند. گونه‌های کهور *Prosopis juliflora* (Swartz) DC به وفور در



شکل ۲. سیستم کشت، و فاصله و ابعاد ردیف‌ها و چاله‌های کشت در منطقه دهنو هندیجان

بر پایه پتاس از نوع سوپر آب A200^۲ استفاده شد. نسبت وزن پلیمر مصرفی در حجم آب استفاده شده ۱۳g/L محاسبه و اعمال شد.

۹- برای اجرای تیمار ماسه‌بادی-کشت نزدیک

منبع آب، نهال‌ها در چاله‌های پر شده با ماسه‌بادی، که در پشت کانال ذخیره آب قرار داشتند، کشت شدند. این چاله‌ها زیر تاثیر نشت رطوبت از کانال بودند.

۱۰- برای اجرای تیمار ماسه‌بادی-هرس نهال، بر

اساس تجارب جوامع محلی پس از کاشت نهال در چاله‌های جایگزین شد با ماسه‌بادی، در طول سه سال اول دوره پژوهش، پاجوش‌ها و برخی شاخه‌های جانبی حذف و تاج گیاه تنک شد. عملیات هرس هر ساله قبل از شروع فصل رشد در زمستان اجرا شد. طبق دانش بومی، هرس و تک‌پایه کردن نهال‌ها موجب کاهش نیاز آبی، مناسب شدن فرم تاج و افزایش درصد استقرار و میزان رشد نهال می‌شود.

۱۱- برای رفع محدودیت کمبود عناصر مغذی

ماسه‌بادی، اقدام به استفاده از یک نوع کودآلی و سه نوع کود شیمیایی شد. انواع کودهای شیمیایی در دو سال اول در یک زمان و صرفاً دو مرتبه در طول فصل‌رشد از

۴- برای مشخص شدن قابلیت خاک منطقه و اجرای تیمار شاهد^۱، در تعدادی از چاله‌های حفر شده بدون تعویض خاک اقدام به کشت نهال در خاک طبیعی عرصه شد.

۵- ماسه بادی بدون هیچ املاحی از معادن اطراف تهیه، و با کمک ماشین‌آلات و نیروی کار به میزان ۰/۵ تا ۰/۶m^۳ در هر گودال تخلیه و تشک مناسب با گنجایش ۸۰L آب ایجاد شد. پس از یک دور آبیاری قبل از کشت، نهال‌ها هفته بعد مطابق اصول فنی کشت و مجدداً آبیاری شد. نهال‌های کشت شده به این روش به عنوان تیمار ماسه‌بادی لحاظ شد.

۶- به‌طور کلی مصرف پلیمرهای سوپرجاذب با هدف غلبه بر تنش‌های محیطی و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک برای موفقیت برنامه‌های آبیاری و متعاقباً توسعه پوشش گیاهی مناطق خشک استفاده می‌شوند (۲۵). برای اجرای تیمار مخلوط ماسه‌بادی-سوپرجاذب، ۱۸ تا ۲۰L هیدروژل اشباع با ماسه‌بادی مخلوط، و با استفاده از آن چاله کشت در محدوده عمق ۳۰ تا ۱۰۰cm از سطح تشک پر شد. در این تحقیق فقط از هیدروژل سوپرجاذب

^۲ Super AB A200

^۱ Control treatment

مناسبی از عناصر ریزمغذی شامل، منیزیم، منگنز، مس، روی، بور، آهن و مولیبدن، مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲). کود کامل به‌صورت مایع و به روش محلول‌پاشی به نسبت ۱۵g/L استفاده شد.

مراقبت، نگهداری و آبیاری از نهال‌های کشت شده

کل محدوده نهال‌کاری تا زمان استقرار نهال‌ها در پایان سال پنجم قرق شد. بجز دو نوبت آبیاری قبل و بعد از کشت، در کل ۷ نوبت آبیاری در طول دو سال آغازین پژوهش در تمام تیمارها به صورت یکسان اجرا شد. در سال اول ۴ و در سال دوم ۳ نوبت آبیاری و در هر نوبت ۶۰ تا ۸۰L آب با کیفیت شرب برای هر نهال استفاده شد. عملیات آبیاری از سال سوم به‌طور کامل قطع شد.

طرح آزمایشی

طرح آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی نامتعادل با تکرارهای نابرابر اجرا شد. در مجموع ۹ تیمار استفاده شد که هر کدام بیش از ۲۲ نهال یا پایه داشت (شکل ۳). لازم به توضیح است، به‌دلیل اجرای پژوهش در عرصه طبیعی، و عدم امکان اجرای برخی تیمارهای دیگر، تعداد پایه‌ها در تیمارهای مختلف یکسان نبود. به عنوان مثال در آغاز قصد استفاده از ۵ نوع کود شیمیایی و دو نوع سوپر جاذب بود ولی به‌دلیل محدودیت‌های موجود فقط سه نوع کود آزموده شد. لذا پایه‌های باقیمانده در همان تیمار جایگزینی خاک با ماسه‌بادی لحاظ و تحلیل شد.

جدول ۱. ترکیب و ویژگی‌های کود NPK مورد استفاده در

پروژه زیستی دهنو هندیجان

عناصر	درصد	نقش در گیاه
نیتروژن (N)	۲۰٪	افزایش رشد رویشی و سبزی‌نگی برگ‌ها
فسفر (P)	۲۰٪	تقویت ریشه‌زایی و گلدهی
پتاسیم (K)	۲۰٪	افزایش مقاومت به تنش‌ها (خشکی، سرما)
آهن (Fe)	بالا	جلوگیری از زردی برگ‌ها (کلروز آهن) و فعال‌سازی آنزیم‌های تنفسی
ریز مغذی‌ها (TE)	کم	بهبود عملکرد آنزیم‌ها (روی، منگنز، مس، بور، مولیبدن)

فروردین تا اردیبهشت و جمعا ۴ مرحله، استفاده شد. برای جذب بهتر، تمامی کودهای شیمیایی به صورت محلول‌پاشی با استفاده از سم‌پاش دستی در زمان صبح یا عصر انجام شد. در مجموع چهار تیمار استفاده از کودها شامل:

الف- تیمار مخلوط ماسه‌بادی-کودآلی: مقدار

$2m^3/0$ کود دامی پوسیده تهیه شده از روستای مجاور با $4m^3/0$ ماسه‌بادی مخلوط و با استفاده از آن چاله کاشت تا محدوده عمق ۱۰۰cm پر شد.

ب- تیمار ماسه‌بادی-کود پتاس مایع (K_2O): با

توجه به بافت به‌نسبت سنگین و ماده‌آلی کم و متعاقباً سطح ویژه زیاد، پیش‌بینی شد خاک منطقه با کمبود پتاسیم قابل جذب گیاه مواجه باشد (۴). این کود با هدف جبران کمبود پتاسیم و متعاقباً افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی و تنظیم فشار اسمزی و جذب آب توسط نهال‌های استفاده شد. پتاس مایع به دلیل حلالیت زیاد و جذب سریع، نقش کلیدی در رشد گیاه دارد. علاوه بر این به‌دلیل عدم وابستگی به رطوبت خاک، در خاک‌های مناطق خشک و بیابان مؤثرتر است. مقدار مصرف این کود $8cm^3/L$ و به‌صورت محلول‌پاشی استفاده شد.

ج- تیمار ماسه‌بادی-کود NPK: کود NPK 20-20-

(High Fe) 20+TE یک نوع کود متعادل با درصد مساوی ازت، فسفر و پتاسیم هر کدام ۲۰٪ به همراه ریز مغذی‌ها به ویژه مقدار زیاد آهن بود (جدول ۱). با توجه به شور و قلیا بودن خاک عرصه احتمال غیرقابل جذب بودن آهن برای گیاه وجود داشت. با توجه به نقش آهن در سنتز کلروفیل و فتوسنتز، انتقال الکترون و تنفس سلولی، و فعال‌سازی آنزیم‌ها، اقدام به استفاده از این کود شد. این کود به صورت جامد با حلالیت زیاد تهیه و به روش محلول‌پاشی به نسبت ۱۵g/L استفاده شد.

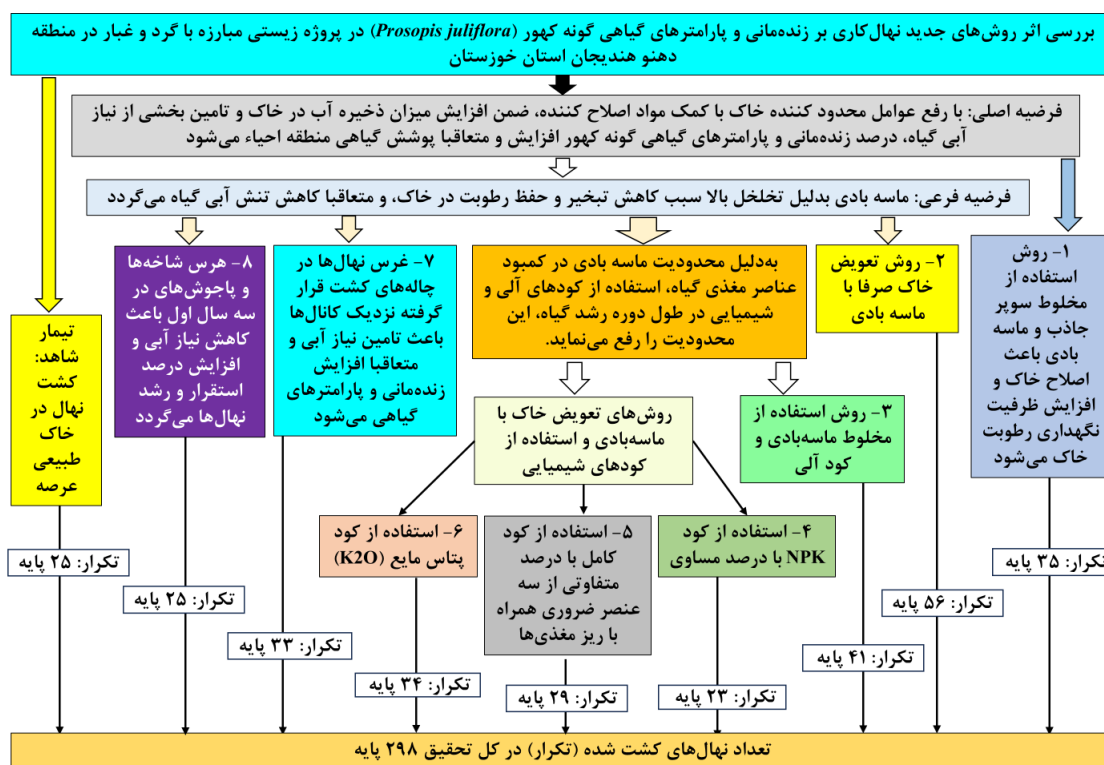
د- تیمار ماسه‌بادی-کود کامل: کود فوسامکو^۱

کودی کامل که در مقایسه با NPK درصد ازت، فسفر و پتاسیم مساوی نیست و مقادیر عناصر ریز مغذی بیشتری دارد. این کود به‌دلیل داشتن عناصر ضروری و مقادیر

¹ PhosamcoTM4

جدول ۲. ترکیب و ویژگی‌های کود کامل مورد استفاده در مطالعه حاضر (*: کلات EDTA)

نقش اصلی	مقدار (g/L)	عنصر
بهبود رشد رویشی و سبزی‌نگی برگ‌ها	۱۰۰	نیتروژن (N)
توسعه ریشه و تقویت ریشه‌زایی و گلدهی و سنتز پروتئین و کلروفیل	۴۰	فسفر (P ₂ O ₅)
مقاومت به تنش و افزایش تحمل نهال به شوری و خشکی	۷۰	پتاسیم (K ₂ O)
فعال کننده کلروفیل و فعال سازی آنزیم‌های تنفسی و فتوسنتزی	۱/۸	منیزیم* (Mg)
بهبود فتوسنتز (حفظ سبزی‌نگی برگ‌ها در شرایط خشکی) و آنزیم‌ها (کاهش استرس اکسیداتیو ناشی از گرما و شوری) و تولید لیگنین (افزایش استحکام ساقه)	۱/۳	منگنز* (Mn)
فعال سازی آنزیم تنفسی سیتوکروم اکسیداز و آنزیم ضد استرس سوپراکسید دیسموتاز و ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسیستم	۱	مس* (Cu)
سنتز هورمون‌ها بویژه تولید اکسین (هورمون رشد ریشه)، کاهش استرس اکسیداتیو ناشی از خشکی، تنظیم جذب سدیم (Na ⁺) و پتاسیم (K ⁺) و کاهش سمیت ناشی از شوری خاک	۰/۷	روی* (Zn)
تقسیم سلولی و کمک به بقای نهال‌ها در خاک‌های شور و رشد ریشه جانبی و تحمل به شوری	۰/۲	بور (B)
سنتز کلروفیل، جلوگیری از زردی برگ‌ها (کلروز آهن) و فعال سازی آنزیم‌های تنفسی	۰/۰۷	آهن* (Fe)
تثبیت نیتروژن و تسهیل جذب و انتقال فسفر و متعاقباً رشد بهتر ریشه	۰/۰۳	مولیبدن (Mo)



شکل ۳. فلوچارت تیمارهای بررسی شده در طرح آزمایشی مطالعه حاضر

شاخص نرخ بقا در تیمارها

(MR) و درصد زنده‌مانی^۴ (SP) یا نرخ بقاء^۵ (SR) و درصد موفقیت کشت^۶ برای هر تیمار طبق رابطه زیر محاسبه شد.

$$SR = (TNSP / NSP) \times 100$$

نرخ بقا در تمامی تیمارها در پایان سال دوم و پنجم

با توجه به اینکه تعداد کل نهال‌های کشت شده^۱ (TNSP) در سال اول مشخص بود، با شمارش تعداد نهال‌های زنده‌مانده^۲ (NSP) در هر تیمار، نرخ تلفات^۳

⁴ Survival percentage

⁵ Survival rate

⁶ Planting success percentage

¹ Total number of seedlings planted

² Number of surviving plants

³ Mortality rate

در گام نخست داده‌های پرت^{۱۲} با استفاده از روش محدوده میان‌چارکی (IQR) شناسایی و با میانه یا میانگین جایگزین شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها^{۱۳} از آزمون شاپیرو-ویلک^{۱۴} و برای بررسی معنی‌داری تأثیر تیمارها بر شاخص‌های گیاهی از تجزیه چندمتغیره مدل خطی عمومی (GLM)^{۱۵} استفاده شد. سپس با استفاده از آزمون والر-دانکن^{۱۶} و مقایسه جفتی گابریل^{۱۷} میانگین شاخص‌های رشد کهور در تیمارهای مختلف مقایسه و گروه‌بندی شد. این دو آزمون زمانیکه حجم نمونه‌ها در تیمارها با هم برابر نباشد مناسب است (۳۲). وضعیت شاخص‌های رشد کهور در گروه‌بندی چهارگانه مستخرج از آزمون‌های مقایسه میانگین، به‌ترتیب به‌صورت ۱- ضعیف، ۲- متوسط، ۳- خوب و ۴- عالی طبقه‌بندی شد. همچنین وضعیت تأثیر کلی هر روش بر اساس برآیند طبقه شاخص‌های رشد کهور، در ۴ طبقه از ضعیف تا عالی طبقه‌بندی شد. برای اولویت‌بندی تیمارها، اقدام به امتیازدهی بر اساس طبقات زنده‌مانی، شاخص‌های رشد، و وضعیت تأثیر کلی هر تیمار از صفر تا ۳ به‌ترتیب برای طبقه‌های ضعیف تا عالی شد. بر این اساس تیمارهایی که بیشترین امتیاز و طبقه عالی تا متوسط را داشتند به‌ترتیب برای توصیه در روش‌های مبارزه زیستی با فرسایش بادی اولویت‌بندی شدند.

نتایج و بحث

نرخ بقا در تیمارهای مختلف

در مجموع ۲۹۸ اصله نهال *P. juliflora* در تیمارهای مختلف کشت شد. کمترین روند تغییرات تعداد پایه‌های زنده در طول پنج سال، در دو تیمار ماسه‌بادی-کود کامل و ماسه‌بادی-NPK مشاهده شد (شکل ۴). تیمارهای مختلف تأثیر متفاوتی بر زنده‌مانی نهال‌ها داشتند. نتایج آزمون کای‌اسکوئر، اختلاف معنی‌داری بین نرخ‌بقاء کهور در تیمارهای مختلف نشان داد (جدول ۳).

به‌ترتیب به‌عنوان نرخ استقرار اولیه^۱ و بقاء بلندمدت^۲ محاسبه شد. در پایان از تجزیه آماری کای‌اسکوئر^۳ برای بررسی معنی‌داری تأثیر تیمارها بر نرخ بقا استفاده شد. روش‌های کشت بر اساس دامنه شاخص نرخ بقاء بلندمدت به‌صورت قراردادی در چهار طبقه شامل: کمتر از ۳۰٪، ضعیف، بین ۳۰٪ تا ۵۰٪، متوسط، بین ۵۰٪ تا ۷۰٪، خوب و بالای ۷۰٪، عالی، طبقه‌بندی شدند.

شاخص‌های رشد کهور

سه شاخص مهم رشد کهور که نقش مهمی در توان گیاه در مقابله با فرسایش و حفاظت خاک دارند، شامل: ۱- متوسط ارتفاع گیاه^۴ ۲- سطح تاج‌پوشش^۵ و ۳- حجم اندام‌هوایی گیاه^۶ اندازه‌گیری شد. ارتفاع متوسط پایه‌ها با متر دستی اندازه‌گیری شد. سایه‌انداز تاج‌پوشش پایه‌های کهور به شکل هندسی بیضی^۷ تصور شد (Búrquez et al., 2010). بزرگترین و کوچکترین ابعاد تاج‌پوشش بر حسب متر اندازه‌گیری و تاج‌پوشش از رابطه زیر محاسبه شد:

$$C_C = C_L/2 \times C_W/2 \times \pi$$

که در آن:

C_L طول تاج^۸ به عنوان قطر بزرگ بیضی^۹، C_W عرض تاج^{۱۰} به عنوان قطر کوچک بیضی^{۱۱} و π عدد ۳/۱۴ است. با ضرب متوسط ارتفاع (H) در تاج‌پوشش (C_C)، حجم اندام‌هوایی گیاه (S_V) بر حسب مترمکعب محاسبه شد. آخرین مرحله نمونه‌برداری ۵ سال بعد از کشت در زمستان ۱۴۰۱ انجام و داده‌های برداشت‌شده برای مقایسه تیمارها تحلیل شد.

تجزیه‌های آماری و اولویت‌بندی تیمارهای مختلف کشت

¹ Initial establishment rate

² Long-term survival

³ Chi-Square Test

⁴ Height

⁵ Canopy Cover

⁶ Shoot volume

⁷ ellipse

⁸ crown length

⁹ Major axis of the ellipse

¹⁰ crown width

¹¹ Minor axis of the ellipse

¹² Outliers

¹³ Tests of Normality

¹⁴ Shapiro-Wilk

¹⁵ General Linear Model

¹⁶ Waller-Duncan test

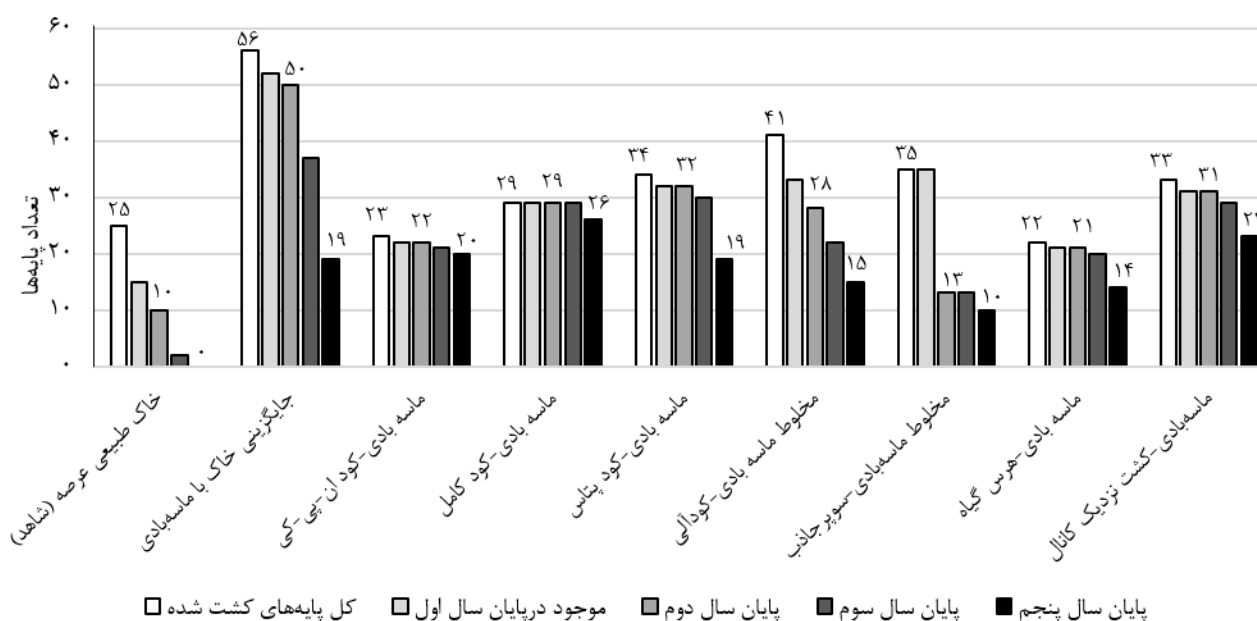
¹⁷ Gabriel's pairwise comparisons test

بررسی شاخص‌های رشد کهور در تیمارهای مختلف

در تیمار مخلوط ماسه‌بادی و سوپر جاذب کمترین و در تیمارهای ماسه‌بادی-کشت نزدیک منبع آب و ماسه‌بادی-کود کامل بیشترین میانگین شاخص‌های رشد $P. juliflora$ اندازه‌گیری شد (جدول ۵).

نتایج تجزیه چندمتغیره GLM تأثیر کلی تیمارهای نهال‌کاری بر شاخص‌های رشد $P. juliflora$ را معنی‌دار نشان داد. نتایج نشان داد بین ارتفاع، تاج‌پوشش و حجم اندام‌هوایی در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری ($Sig < 0.01$) وجود دارد. به عبارتی دیگر، این تیمارها با اطمینان ۹۹٪ بر شاخص‌های رشد $P. juliflora$ تأثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۶).

در سال دوم و پنجم استقرار اولیه و نرخ بقاء بلندمدت تیمارهای مختلف محاسبه شد (جدول ۴). با وجود استقرار اولیه ۴۰٪ در تیمار شاهد، ولی تمامی نهال‌ها بعد از ۵ سال خشک شدند و نرخ بقاء بلندمدت صفر محاسبه شد. این اختلاف نشان دهنده تأثیر معنی‌دار تیمارهای اصلاحی بر زنده‌مانی و استقرار کهور بود. بیشترین درصد استقرار اولیه و نرخ بقاء بلندمدت به ترتیب با ۱۰۰٪ و ۹۰٪ در تیمار ماسه‌بادی-کود کامل محاسبه شد. بعد از شاهد، تیمار مخلوط ماسه‌بادی-سوپر جاذب با ۷۱٪، بیشترین درصد خشکیدگی را داشت. تیمارهای ماسه‌بادی-کود کامل با ۹۰٪ و ماسه‌بادی-کود NPK با ۸۷٪ در طبقه عالی نرخ‌بقاء قرار گرفتند.



شکل ۴. روند تغییرات تعداد پایه‌های زنده کهور در تیمارهای مختلف در طول ۵ سال دوره تحقیق

جدول ۳. نتایج آزمون کای اسکوتر برای بررسی زنده‌مانی کهور در تیمارهای مختلف

شاخص‌های آماری کای اسکوتر	مقدار	df	معنی‌داری مجانبی (دو طرفه)
کای اسکوتر پیرسون	۱۳-۱/۱۷۲۳۲E	۸	۷۸/۱۱ ^a
نسبت احتمال	۱۶-۱/۴۹۰۵۵E	۸	۹۲/۴۳
ارتباط خطی به خطی	۱۲-۱/۲۲۳۵۴E	۱	۵۰/۴۵
تعداد موارد معتبر	۲۹۸		

جدول ۴. درصد استقرار اولیه و بقاء بلندمدت در تیمارهای مختلف کاشت کهور

کل	نرخ بقاء بلندمدت		درصد استقرار اولیه	جدول متقابل زنده مانی در تیمارهای مختلف	
	خشک شده	مستقر شده			
۲۵	۲۵	صفر	۴۰	تعداد پایه	کشت نهال در خاک طبیعی عرصه (شاهد) ^۱
۱۰۰	۱۰۰	صفر		درصد در تیمار	
۸/۴	۸/۴	صفر		درصد از کل پایه‌ها	
۳۵	۲۵	۱۰	۳۷	تعداد پایه	مخلوط ماسه‌بادی- سوپر جاذب ^{*۱}
۱۰۰	۷۱	۲۹		درصد در تیمار	
۱۱/۷	۸/۴	۳/۴		درصد از کل پایه‌ها	
۵۶	۳۷	۱۹	۸۹	تعداد پایه	جایگزینی خاک با ماسه‌بادی ^{*۲}
۱۰۰	۶۶	۳۴		درصد در تیمار	
۱۸/۸	۱۲/۴	۶/۴		درصد از کل پایه‌ها	
۴۱	۲۶	۱۵	۶۸	تعداد پایه	مخلوط ماسه‌بادی- کودآلی ^۲
۱۰۰	۶۳	۳۷		درصد در تیمار	
۱۳/۸	۸/۷	۵		درصد از کل پایه‌ها	
۳۴	۱۵	۱۹	۹۴	تعداد پایه	ماسه‌بادی- کود پتاس ^۲
۱۰۰	۴۴	۵۶		درصد در تیمار	
۱۱/۴	۵	۶/۴		درصد از کل پایه‌ها	
۲۲	۸	۱۴	۹۵	تعداد پایه	ماسه‌بادی- هرس گیاه ^{*۲}
۱۰۰	۳۶	۶۴		درصد در تیمار	
۷/۴	۲/۷	۴/۷		درصد از کل پایه‌ها	
۳۳	۱۰	۲۳	۹۴	تعداد پایه	ماسه‌بادی- کشت نزدیک منبع آب ^۳
۱۰۰	۳۰	۷۰		درصد در تیمار	
۱۱/۱	۳/۴	۷/۷		درصد از کل پایه‌ها	
۲۳	۳	۲۰	۹۶	تعداد پایه	ماسه‌بادی- کود NPK ^{*۴}
۱۰۰	۱۳	۸۷		درصد در تیمار	
۷/۷	۱	۶/۷		درصد از کل پایه‌ها	
۲۹	۳	۲۶	۱۰۰	تعداد پایه	ماسه‌بادی- کود کامل ^۴
۱۰۰	۱۰	۹۰		درصد در تیمار	
۹/۷	۱	۸/۷		درصد از کل پایه‌ها	
۲۹۸	۱۵۲	۱۴۶	۷۹	تعداد کل پایه	کل
۱۰۰	۵۱	۴۹		درصد در تیمارها	

* طبقات زنده‌مانی شامل: ۱ ضعیف، ۲ متوسط، ۳ خوب و ۴ عالی.

جدول ۵. مقادیر شاخص‌های رشد کهور در تیمارهای مختلف

ردیف	روش کشت	شاخص گیاهی	انحراف معیار $\pm$ میانگین	کمینه	بیشینه	چولگی	کشیدگی	نرمالیت
۱	مخلوط ماسه‌بادی- سوپر جاذب	ارتفاع (m)	$1/23 \pm 0/14$	۱/۰۵	۱/۴۵	۰/۳۶	-۱/۲۷	۰/۵۲
		تاج پوشش (m ^۲)	$1/31 \pm 0/49$	۰/۶۳	۲	۰/۲۴	-۱/۰۱	۰/۳۲
		حجم (m ^۳)	$1/65 \pm 0/7$	۰/۶۶	۲/۸	۰/۲۱	-۰/۹۵	۰/۸۱
۲	جایگزینی خاک با ماسه‌بادی	ارتفاع (m)	$1/35 \pm 0/24$	۰/۸۵	۱/۷	-۰/۲۴	-۰/۰۶	۰/۰۶
		تاج پوشش (m ^۲)	$1/73 \pm 0/55$	۰/۶۸	۲/۷۵	۰/۳۳	-۰/۳۶	۰/۴۷
		حجم (m ^۳)	$2/35 \pm 0/93$	۱/۱۶	۴/۲۳	۰/۸۶	-۰/۲۴	۰/۰۵
۳	مخلوط ماسه‌بادی- کودآلی	ارتفاع (m)	$1/48 \pm 0/2$	۱/۲	۱/۹	۰/۵۷	-۰/۴۶	۰/۰۵
		تاج پوشش (m ^۲)	$2 \pm 0/7$	۱/۱۷	۳/۳	۰/۶۹	-۰/۹۲	۰/۰۶
		حجم (m ^۳)	$3 \pm 1/2$	۱/۶۱	۵/۸۲	۱/۰۵	۰/۰۶	۰/۱۲

ردیف	روش کشت	شاخص گیاهی	انحراف معیار $\pm$ میانگین	کمینه	بیشینه	چولگی	کشیدگی	نرمالیده
۴	ماسه‌بادی-هرس گیاه	ارتفاع (m)	$1/5 \pm 0/26$	۱/۲	۱/۹۵	۰/۵۲	-۱/۱۷	۰/۱۴
		تاج پوشش (m^2)	$2 \pm 0/7$	۰/۸۱	۲/۹۴	-۰/۱۴	-۱/۱۵	۰/۶۳
		حجم (m^3)	$3/1 \pm 1/4$	۱/۰۲	۵/۵۲	۰/۴	-۰/۹۷	۰/۴
۵	ماسه‌بادی-کود NPK	ارتفاع (m)	$1/32 \pm 0/25$	۰/۹۵	۱/۷۱	-۰/۰۹	-۱/۲۴	۰/۲۲
		تاج پوشش (m^2)	$2/3 \pm 0/77$	۱/۱۷	۳/۴۶	۰/۲۶	-۱/۱۶	۰/۱۲
		حجم (m^3)	$3/17 \pm 1/5$	۱/۲۸	۵/۹۱	۰/۵۶	-۰/۸۶	۰/۰۶
۶	ماسه‌بادی-کود پتاس	ارتفاع (m)	$1/54 \pm 0/3$	۱/۱	۲/۲	۰/۶۲	-۰/۳۹	۰/۱۹
		تاج پوشش (m^2)	$2/49 \pm 0/51$	۱/۶۳	۳/۴۳	۰/۲۸	-۰/۷۶	۰/۷۷
		حجم (m^3)	$3/8 \pm 0/9$	۲/۴	۵/۴۳	۰/۲۳	-۰/۹۴	۰/۶۳
۷	ماسه‌بادی-کود کامل	ارتفاع (m)	$1/5 \pm 0/21$	۱/۱۵	۱/۹	۰/۲۸	-۰/۷۴	۰/۳۲
		تاج پوشش (m^2)	$2/58 \pm 0/99$	۰/۹۸	۴/۳۲	۰/۲۱	-۰/۸۶	۰/۴۱
		حجم (m^3)	$4/01 \pm 1/9$	۱/۱۳	۸/۲۱	۰/۶۷	-۰/۴۱	۰/۱
۸	ماسه‌بادی-کشت نزدیک منبع آب	ارتفاع (m)	$1/7 \pm 0/29$	۱/۲۵	۲/۳	۰/۷۴	-۰/۳	۰/۱۱
		تاج پوشش (m^2)	$2/6 \pm 1$	۱/۱۲	۴/۴۹	۰/۳۶	-۰/۹	۰/۱۸
		حجم (m^3)	$4/3 \pm 1/9$	۱/۴	۷/۲۱	۰/۰۸	-۱/۴۶	۰/۰۸

جدول ۶. نتایج آزمون GLM برای بررسی تأثیر تیمارها بر شاخص‌های رشد کهور

منبع آزمون	مجموع مربعات نوع سوم	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.
مدل اصلاح شده	۲/۲۲a	۷	صفر	۵/۱۳	۰/۰۰
	۲۲/۲۹b	۷	۳	۵/۲۴	۰/۰۰
	۸۸/۹۳c	۷	۱۳	۵/۸۳	۰/۰۰
اثر متقابل	۲۸۳	۱	۲۸۳	۴۵۸۰/۸	۰/۰۰
	۶۱۰	۱	۶۱۰	۱۰۰۳/۲	۰/۰۰
	۱۳۶۲	۱	۱۳۶۲	۶۲۵/۵	۰/۰۰
تیمار کشت	۲	۷	صفر	۵/۱۳	۰/۰۰
	۲۲	۷	۳	۵/۲۴	۰/۰۰
	۸۹	۷	۱۳	۵/۸۳	۰/۰۰

طبقه‌بندی و اولویت‌بندی تیمارهای مختلف کشت

گروه‌بندی شاخص‌های رشد کهور در آزمون آماری والر-دانکن و گابریل یکسان بود. بر این اساس شاخص‌های رشد *P. juliflora* در ۴ طبقه از ضعیف تا عالی طبقه‌بندی شد (جدول ۷).

در مجموع، وضعیت تأثیر کلی تیمارهای مخلوط ماسه‌بادی-سوپرجاذب و ماسه‌بادی-کود NPK بر شاخص‌های رشد کهور ضعیف ارزیابی شد. وضعیت تأثیر تیمار ماسه‌بادی-هرس، خوب، و تیمارهای ماسه‌بادی-کود پتاس و ماسه‌بادی-کشت نزدیک منبع آب به‌صورت عالی و مابقی روش‌ها در سطح متوسط ارزیابی شد. به‌منظور اولویت‌بندی روش‌های مختلف نهالکاری برای توصیه در روش‌های مبارزه با فرسایش و بیابان‌زایی، کل شاخص‌های

اندازه‌گیری شده و ارزیابی شده امتیازدهی شد (جدول ۸). تیمارهای ماسه‌بادی-کشت نزدیک کانال‌ها و ماسه‌بادی-کود پتاس، با داشتن بیشترین طبقه عالی به‌ترتیب با مجموع امتیاز ۱۴ و ۱۳ به‌عنوان اولویت اول توصیه، معرفی شدند. البته به‌دلیل هزینه‌بر بودن حفر کانال و اینکه امکان اجرای روش تعویض خاک و کشت نزدیک منبع آب در سطوح وسیع با محدودیت روبرو است، لذا این روش بیشتر برای پروژه‌های زیست‌مهندسی توصیه شد. از طرفی به‌دلیل راحت بودن اجرای روش تعویض خاک با ماسه‌بادی و استفاده توأم از کود پتاس مایع در عرصه‌های وسیع، این روش به‌عنوان اولویت اول نهال‌کاری معرفی شد (شکل ۵).

جدول ۷. گروه‌بندی میانگین شاخص‌های رشد کهور در تیمارهای مختلف به روش والر-دانکن و گابریل

روش کشت	طبقه‌بندی شاخص‌های رشد کهور بر اساس گروه‌های همگن												وضعیت تأثیر
	۴				۳				۲				کلی
	۱*	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	
رویش نهالکاری	حجم گیاه (متر مکعب)				تاج پوشش (متر مربع)				ارتفاع (متر)				رویش
ضعیف	۱/۶۴				۱/۳۱				۱/۲۳				مخلوط ماسه‌بادی-سوپر جاذب
ضعیف	۲/۳۵				۱/۷۳				۱/۳۲				ماسه‌بادی-کود NPK
متوسط	۳/۰۲				۲				۱/۳۵				صرفاً ماسه‌بادی
متوسط	۳/۱۳				۲/۰۳				۱/۴۸				مخلوط ماسه‌بادی-کودآلی
متوسط	۳/۱۷				۲/۳۱				۱/۵				ماسه‌باد-کود کامل
خوب	۳/۷۹				۲/۴۹				۱/۵۲				ماسه‌بادی-هرس
عالی	۴				۲/۵۸				۱/۵۴				ماسه‌بادی-کود پتاس
عالی	۴/۳۵				۲/۵۹				۱/۶۶				ماسه‌بادی-کشت نزدیک منبع آب
-	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۳۹	۰/۰۶	۰/۲۹	۰/۱۲	۰/۶۶	۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۰۵	معنی‌داری به روش گابریل

* طبقات شاخص‌های رشد شامل: ۱. ضعیف، ۲. متوسط، ۳. خوب و ۴. عالی.

جدول ۸. اولویت‌بندی روش‌های مختلف نهالکاری بر اساس شاخص‌های ارزیابی شده

اولویت‌بندی	مجموع امتیاز روش*	وضعیت تأثیر کلی روش	شاخص‌های گیاهی				روش کشت
			حجم اندام هوایی	تاج پوشش	ارتفاع	زنده‌مانی	
در اولویت نیست	صفر	ضعیف	ضعیف	ضعیف	ضعیف	ضعیف	مخلوط ماسه‌بادی-سوپر جاذب
در اولویت نیست	۳	ضعیف	ضعیف	ضعیف	ضعیف	عالی	ماسه‌بادی-کود NPK
اولویت ۳ در روش‌های زیستی	۴	متوسط	متوسط	متوسط	ضعیف	متوسط	جایگزینی با ماسه‌بادی
اولویت ۳ در روش‌های زیستی	۵	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	مخلوط ماسه‌بادی-کودآلی
اولویت ۲ در روش‌های زیستی	۸	متوسط	متوسط	خوب	متوسط	عالی	ماسه‌بادی-کود کامل
اولویت ۲ در روش‌های زیستی	۹	خوب	خوب	خوب	متوسط	خوب	ماسه‌بادی-هرس گیاه
اولویت ۱ در روش‌های زیستی	۱۳	عالی	عالی	عالی	خوب	خوب	ماسه‌بادی-کود پتاس
اولویت ۱ در روش‌های بیومکانیکی	۱۴	عالی	عالی	عالی	عالی	خوب	ماسه‌بادی-کشت نزدیک کانال

* نحوه امتیازدهی: از طبقه ضعیف تا عالی به ترتیب از صفر تا ۳.



شکل ۵. (الف) نمایی از پایه‌های کهور در تیمار جایگزینی خاک با ماسه‌بادی-کشت نزدیک منبع آب و (ب) تیمار ماسه‌بادی-کود پتاس در پایان سال پنجم، در منطقه دهنو هندیجان.

زیستی احیایی می‌باشند زیرا احتمال موفقیت آنها بیشتر است. محققان بر توسعه گونه‌های بومی برای مقابله با فرسایش تاکید داشته‌اند زیرا این گونه‌ها سازگاری زیادی نسبت به شرایط نامناسب اداپتی و اقلیمی دارند (۹). گونه بومی کهور به دلیل شکل هندسی، تخلخل، انعطاف‌پذیری و مقاوت مناسب به شرایط محیطی و همچنین ایجاد پوشش و ناهمواری‌های سطحی موجب کاهش سرعت باد و متعاقباً حفاظت خاک می‌شود. از طرفی با جذب انرژی جنبشی باد موجب کنترل توفان‌های گرد و غبار، و جلوگیری از فرسایش سطح خاک می‌شود (۲۱). در این تحقیق کهور با استفاده از روش‌های جدید نهالکاری به‌طور مناسب در عرصه‌های تخریب شده دهنو هندیجان که تحت تاثیر شدید پدیده گرد و غبار است مستقر شد. البته بدلیل تاثیر بالقوه تهاجمی گونه کهور، و برای تأثیرگذاری بهتر بر فرآیندهای تصمیم‌گیری و مدیریت این گونه گیاهی (۲۷)، ضروریست تا پویایی تهاجم بالقوه این گونه با سناریوی تغییر اقلیم در سطح منطقه‌ای و حتی ملی مورد بررسی قرارگیرد.

تمامی نهال‌های کشت‌شده در خاک طبیعی منطقه، خشک شدند در حالیکه روش جایگزینی خاک نامناسب با ماسه‌بادی، تاثیر معنی‌داری بر توسعه پوشش گیاهی منطقه داشت. این یافته با نتایج دیگر محققان که دریافتند توسعه پوشش گیاهی در خاک‌های جایگزین شده با مواد اصلاح کننده، نسبت به خاک‌های اصلاح نشده بیشتر است همخوانی دارد (۲۹). محققان دریافتند جایگزینی خاک سطحی همراه با زیر خاک کردن آن بر افزایش بازده و تولید گیاه موثر است (۲۰). نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد استفاده از ماسه‌بادی شیوه موفق‌تری برای افزایش شاخص‌های رشد کهور است. از ماسه به‌منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (۱۵)، کاهش تأثیر منفی تابش آفتاب و وزش باد بر رطوبت خاک و میزان تبخیر (۳۳) استفاده می‌شود. تبخیر زیاد در خاک‌های سنگین که لوله‌های مؤثره بیشتری دارند موجب خروج آب از لایه‌های عمقی و شور شدن سطح خاک در تأثیر انتقال املاح محلول توسط فرآیند کاپیلاری می‌شود. استفاده از ماسه‌بادی علاوه بر افزایش تخلخل و نفوذپذیری خاک، سطح خاک را محفوظ

باوجود عدم استقرار نهال در خاک طبیعی عرصه، جایگزینی خاک با ماسه‌بادی نقش مهمی در استقرار کهور داشت. وضعیت تأثیر این روش بر شاخص‌های رشد کهور متوسط ارزیابی شد. عدم وجود مواد مغذی در ماسه‌بادی موجب بروز محدودیت در استقرار و رشد نهال‌ها در این روش بود. لذا تلفیق این روش با روش‌های دیگر بویژه استفاده از کودهای پتاس و کامل تأثیر معنی‌داری بر استقرار و رشد این گونه داشت. استفاده از کود NPK که دارای نسبت مساوی از سه عنصر ضروری گیاه است، تأثیر معنی‌داری بر زنده‌مانی داشت، ولی تأثیری بر شاخص‌های رشد گیاه نداشت. درصد زنده‌مانی در تیمار ماسه‌بادی-کود NPK با ۸۷٪ در طبقه عالی قرار داشت، ولی پایه‌های مستقر شده از شاخص‌های رشد ضعیفی برخوردار بودند. در مقابل، استفاده از کود کامل علاوه بر تأمین عناصر ضروری، مقدار مناسبی از عنصرهای ریز مغذی شامل، منیزیم، منگنز، مس، روی، بور، آهن و مولیبدن را در اختیار گیاه قرار داد. لذا علاوه بر زنده‌مانی عالی ۹۰٪، به‌ترتیب تأثیر خوب و متوسطی بر تاج‌پوشش و حجم اندام‌هوایی *P. juliflora* گذاشت. از طرفی، در تیمار استفاده از کود پتاس با وجود زنده‌مانی خوب نهال‌ها (۵۶٪)، شاخص‌های رشد گیاه به‌طور عالی افزایش یافت (جدول ۸). در نتیجه استفاده از پتاس نسبت به کود NPK و کامل تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد گیاه داشت. پیش‌بینی می‌شود، استفاده توأم از کود پتاس و کود کامل با افزایش زنده‌مانی و شاخص‌های رشد کهور موجب افزایش موفقیت پروژه‌های زیستی در منطقه شود.

روش ماسه‌بادی-هرس در اولویت دوم توصیه در روش‌های زیستی مبارزه با فرسایش بادی قرار گرفت. این روش با الگوبرداری از دانش بومی جوامع محلی اجرا شد. عملیات هرس شاخ و برگ و پاجوش‌های اضافه کهور علاوه بر تأثیر مثبت بر نرخ بقا و شاخص‌های رشد کهور، وضعیت تأثیر کلی روش جایگزینی خاک با ماسه‌بادی را از طبقه متوسط به خوب بهبود بخشید.

گونه کهور به‌عنوان گونه بومی منطقه، برای توسعه پوشش گیاهی انتخاب شد. تحقیقات دیگر نشان می‌دهد گونه‌های بومی بهترین منابع برای استفاده در پروژه‌های

بیشتر بررسی‌های انجام‌شده، افزایش ظرفیت آب دسترس برای نهال به‌عنوان عامل کلیدی در موفقیت پروژه نهالکاری با گونه‌های بیابانی معرفی شده است. به‌عنوان نمونه، برخی محققان شیوه حفر چاله و کاشت در خشک‌رودها را بهترین شیوه برای توسعه کشت گونه‌های بیابانی معرفی کردند (۳۰). در مجموع این روش‌ها موجب افزایش رطوبت دسترس گیاه و استفاده از پتانسیل آب‌های سطحی در مناطق خشک و بیابانی می‌شود که با نتیجه این تحقیق همخوانی دارد.

در زیست‌بوم‌های خشک و بیابانی، مدیریت پایدار منابع مستلزم اتخاذ سیاست‌هایی متناسب با شرایط بومی و مشارکت فعال جوامع محلی است. با این‌حال، دانش بومی که بر پایه تجربه‌های زیسته و سازوکارهای مبتنی بر طبیعت شکل گرفته، بیشتر در فرایندهای رسمی برنامه‌ریزی نادیده گرفته می‌شود (۲۳). در پژوهش حاضر، تلفیق دانش بومی و تجارب جوامع محلی در اجرای عملیات هرس با دانش‌نوین درخصوص استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک، هم‌افزایی مناسبی در بهبود عملکرد روش‌های نهال‌کاری بوجود آورد. هرس گیاه، به‌دلیل کاهش میزان تعرق (۱۷)، روش مؤثری برای افزایش کارایی مصرف آب و زیست‌توده است (۸). دانش‌بومی و خودآگاهی جوامع محلی نسبت به اهمیت منابع طبیعی، همراه با دانش‌نوین در این حوزه، بستر مهمی برای مدیریت پایدار و حفاظت از منابع طبیعی فراهم می‌کند (۲۳). تحقیقات اندکی بر روی تأثیر هرس بر گیاهان غیرمثمر بیابانی به‌ویژه کهور آمریکایی صورت گرفته است. بیشتر پژوهش‌های کهور پاکستانی با اهداف مدیریت و احیاء بوم‌سازگان (۸) و کنترل مهاجم بودن و بهبود ساختار این گونه (۲۲) انجام شده‌است. به‌دلیل عدم وجود پژوهش‌های گسترده در این زمینه، لازم است بررسی تکمیلی در ایران انجام پذیرد. زیرا هرس نادرست و شدید درختان می‌تواند تأثیر منفی بر گیاه و محیط اطراف داشته باشد (۲۸).

■ نتیجه‌گیری

با وجود اینکه ماسه موجب متعادل شدن خاک می‌شود، ولی به‌دلیل عناصر غذایی کم عموماً نیاز به

نموده، و از شکل‌گیری مسیرهای موئینه و فرآیند کاپیلاری جلوگیری و متعاقباً تبخیر آب از درون خاک را کاهش می‌دهد (۳۳). در نتیجه، ضمن کاهش شوری و حفظ رطوبت خاک، آب را مدت بیشتری در خاک نگه می‌دارد (۱۴) در مجموع، با جایگزینی ماسه‌بادی، رطوبت قابل دسترس گیاه تنظیم، و آب در محدوده ریشه حفظ می‌شود، لذا بخش قابل توجهی از نیاز آبی نهال تامین می‌شود.

نتایج نشان داد با تلفیق روش تعویض خاک با ماسه‌بادی و اقدامات اصلاحی دیگر بویژه استفاده از کود پتاس (K_2O) محدودیت کمبود مواد مغذی ماسه‌بادی رفع و کمیت رشد کهور افزایش می‌یابد. با وجود اینکه پژوهش‌های زیادی بر روی تأثیر استفاده از کودهای شیمیایی بر گونه‌های بیابانی در پروژه‌های بیابان‌زدایی انجام نشده، ولی بیشتر محققان تأثیر استفاده از کود پتاس بر عملکرد محصولات زراعی را تایید کردند (۲۴). پتاسیم فراوان‌ترین عنصر موجود در افق سطحی خاک‌های با ماده‌آلی بالا است که علاوه بر تأثیرات فیزیولوژیکی، تأثیر ویژه‌ای بر عملکرد گیاه دارد (۴). همچنین پتاسیم به‌عنوان یکی از مهمترین عناصر اصلی مورد نیاز گیاه، نقش مهمی در ساختار سلولی و تنظیم فشار اسمزی سلول‌ها دارد و در تشکیل پرولین که از عوامل مهم افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی و گرما، است مؤثر است (۷). این موارد موجب شده از کود پتاس برای افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، افزایش جذب آب و متعاقباً بهبود عملکرد گیاه استفاده شود (۲۴، ۷) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. پیشنهاد می‌شود به‌منظور افزایش زنده‌مانی در روش استفاده از کود پتاس، استفاده توأمان از کود کامل نیز بررسی شود. پیش‌بینی می‌شود استفاده تلفیقی از این دو کود موفقیت استقرار و رشد گونه کهور در پروژه‌های زیستی را بهبود بخشد.

جایگزینی خاک نامناسب در عرصه‌های تخریب‌شده با ماسه‌بادی و تلفیق آن با روش‌های مهندسی از جمله احداث کانال‌های استحصال و ذخیره آب، موجب افزایش حداکثری تاج‌پوشش و حجم اندام‌هوایی *P. juliflora* شد. این یافته، نتایج دیگر محققان مبنی بر اینکه، احداث کنترفارو و عملیات کشت کهور موجب بهبود مشخصه‌های کارکردی مرتع به‌ویژه پوشش سطحی خاک نسبت به مکان شاهد می‌شود، را تکمیل می‌کند (۶). در

مقایسه با روش کشت در خاک طبیعی عرصه که در پروژه‌های اجرایی کشور استفاده می‌شود، اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.

■ سیاست‌گذاری

پژوهش حاضر به‌عنوان یک مطالعه مستقل و بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی است که با حمایت مالی معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری و سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور انجام شده است. نویسندگان در پایان با سپاس از درگاه الهی، از زحمات کلیه همکاران پروژه تحقیقاتی در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کمال قدردانی را دارند.

استفاده از کودهای آلی یا شیمیایی مناسب دارد تا در کنار اصلاح فیزیکی، از نظر تغذیه‌ای هم خاک تقویت شود. نتایج پژوهش حاضر، روش جدیدی را برای احیاء زیستی عرصه‌های تخریب‌شده ساحلی خوزستان معرفی نمود. در این روش برای افزایش استقرار و بهبود شاخص‌های رشد گونه *P. juliflora*، لازم است پس از کشت نهال در چاله‌هایی که خاک نامناسب آن با ماسه بادی تعویض شده است، نهال‌ها با کود پتاس K_2O محلول‌پاشی شوند. محلول‌پاشی دو سال اول، هر سال دو مرحله در طول فصل‌رشد و به میزان هر بار $8\text{cm}^3/\text{L}$ اجرا می‌گردد. مراقبت و نگهداری نهال‌ها در طول این دو سال شامل: قرق و ۹ نوبت آبیاری است که دو نوبت آن قبل و بعد از کشت اجرا می‌شود. استقرار و رشد کهور در این روش در

■ References

1. Akbariyan, M., & Biniaz, M. (2011). Evaluation of plant species used in wind erosion control (Case Study: Jask City, Hormozgan Province). *Environmental Erosion Research*, 1(2), 29-42. [doi: 20.1001.1.22517812.1390.1.2.3.3](https://doi.org/10.1001.1.22517812.1390.1.2.3.3) [In Persian]
2. Argaw, T. (2015). Impacts of Utilizing Invasive *Prosopis juliflora* (SWARTZ) DC. On Rural Household Economy at Gewane District, Afar Regional State, North-Eastern Ethiopia. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 6(5), 81-98. URL: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JEDS/article/view/20694>
3. Azoogh, L., Khalili Moghadam, B., & Jafari, S. (2018). Interaction of petroleum mulching, vegetation restoration, and dust fallout on the conditions of sand dunes in the southwest of Iran. *Aeolian Research*, 32, 124-132. [doi:10.1016/j.aeolia.2018.01.007](https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2018.01.007).
4. Bandak, S., Movahedi Naeini, S. A. R., & Zeinali, E. (2020). The Effect of Superabsorbent 200A and potassium fertilizer on wheat yield and its components in a loess soil. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(1), 237-244. [doi: 10.22069/jwsc.2020.13771.2850](https://doi.org/10.22069/jwsc.2020.13771.2850). [In Persian]
5. Behnamfar, K., Orsham, A., Saleheh Shushtari, M. H., Tavoosi, M., Danaii, A. R., & Adel, J. A. (2018). Determination of tolerance to below-zero temperatures in *Prosopis juliflora* using physiological indices. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26(1), 49-61. doi.org/10.22092/ijrdr.2019.119326 [In Persian]
6. Cheraghian, A., Dehdari, S., Faraji, M., & Ariapour, A. (2018). Effects of different improvement practices on ecological indicators of rangeland health using the LFA method (Case study: Behbahan, Chahshirin rangelands). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 25(2), 454-464. doi.org/10.22092/ijrdr.2018.116855 [In Persian]
7. Dashadi, M., & Rahimzadeh, R. (2023). The effect of potassium and zinc fertilizer sources on the quantitative and qualitative yield of rainfed chickpeas in different tillage systems. *Applied Research in Field Crops*, 36(1), 98-118. [doi: 10.22092/aj.2024.362179.1645](https://doi.org/10.22092/aj.2024.362179.1645). [In Persian].
8. Elfadl, M., & Luukkanen, O. (2003). Effect of pruning on *Prosopis juliflora*: considerations for tropical dryland agroforestry. *Journal of Arid Environments*, 53, 441-455. [doi: org/10.1006/jare.2002.1069](https://doi.org/10.1006/jare.2002.1069)
9. Gokturk, A., Olmez, Z., & Temel, F. (2006). Some Native Plants for Erosion Control Efforts in Coruh

- River Valley, Artvin, Turkey. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9(4): 667-673. doi: [10.3923/pjbs.2006.667.673](https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.667.673).
10. Hassanizade, S., & Jafari, S. (2021). Changes in physicochemical properties of old stabilized sand dunes due to atmospheric sediments and diversity of clay minerals in a dry area. *Aeolian Research*, 50, 100674. doi: [10.1016/j.aeolia.2021.100674](https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2021.100674).
 11. Heshmati, I., Khorasani, N., Shams-Esfandabad, B., & Riazi, B. (2019). Forthcoming risk of *Prosopis juliflora* global invasion triggered by climate change: implications for environmental monitoring and risk assessment. *Environmental monitoring and assessment*, 191(72). doi: [10.1007/s10661-018-7154-9](https://doi.org/10.1007/s10661-018-7154-9).
 12. Izadi, F., Zamani, R., Chamani, A., & Zamani Ahmadmahmoodi, R. (2022). Quantification of the Effects of the Invasion of Mesquite (*Prosopis Juliflora*) on Native Vegetation in Southern Iran. *Environment & Interdisciplinary Development*. 7(77), 1-12. doi: [10.22034/envj.2022.159953](https://doi.org/10.22034/envj.2022.159953) [In Persian]
 13. Jafari, S., & Hassanizade, S. (2023). Mineralogy assemblage of sand dunes in Khuzestan Province, Iran. *Iranian Agricultural Research*, 41(2): 147-157. doi: [10.22099/iar.2023.43750.1491](https://doi.org/10.22099/iar.2023.43750.1491).
 14. Jahantigh, M. (2021). Investigating the effect of sandstorms on increasing moisture in the root zone using two irrigation methods. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 12(4), 994-1008. doi: [10.22092/ijwmse.2020.127982.1726](https://doi.org/10.22092/ijwmse.2020.127982.1726) [In Persian]
 15. Jahantigh, M., Najafinejad, A., Jahantigh, M., & Hosseinalizadeh, M. (2021). The Long-Term Effects of Sand Mulch and Nanoclay on Physicochemical Properties and Some Erodibility Index in Arid Areas (Case Study: Nimroze of Sistan Area). *Journal of Environmental Erosion Research*; 11(4):16-34. doi: [20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1](https://doi.org/10.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1) [In Persian]
 16. Jiao, L., Wang, X., & Li, D. (2018). Spatial variation in the flux of atmospheric deposition and its ecological effects in arid Asia. *Aeolian Research*, 32, 71-91. doi: doi.org/10.1016/j.aeolia.2018.01.008.
 17. Jin, S., Wang, Y., Shi, L., Guo, X., & Zhang, J. (2018). Effects of pruning and mulching measures on annual soil moisture, yield, and water use efficiency in jujube (*Ziziphus jujube* Mill.) plantations. *Global Ecology and Conservation*, 15, 1-14. doi: doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00406.
 18. Kargar Chigani, H., Khajeddin, S. J., & Karimzadeh, H. R. (2012). Soil-Vegetation Relationships of Three Arid Land Plant Species and Their Use in Rehabilitating Degraded Sites. *Land Degradation & Development*, 23(1), 92-101. doi: [10.1002/ldr.1057](https://doi.org/10.1002/ldr.1057).
 19. Kargar-Chigani, H., Javadi, S., Zahedi-Amiri, G., Khajeddin, S. J., & Jafari, M. (2017). Vegetation composition differentiation and species-environment relationships in the northern part of Isfahan Province, Iran. *Journal of Arid Land*, 9, 161–175. doi: [10.1007/s40333-017-0050-2](https://doi.org/10.1007/s40333-017-0050-2).
 20. Li, P., WANG, S., QI, H., WANG, Y., Zhang, Q., Feng, G., Zheng, C., Yu, X., Lin, Y., & Dong, H. (2020). Soil replacement combined with subsoiling improves cotton yields. *Journal of Cotton Research*, 2(1), 1-16. doi: doi.org/10.1186/s42397-019-0038-x.
 21. Liu, C., Zheng, Z., Cheng, H., & Zou, X. (2018). Airflow around single and multiple plants. *Agricultural and Forest Meteorology*, 252, 27-38. doi: [10.1016/j.agrformet.2018.01.009](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.01.009).
 22. Meela, F. T., Munishi, L. K., & Giliba, R. A. (2025). Challenges in scaling management of the invasive tree *Prosopis juliflora*: A review. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 26(2), 52-69. URL: <https://innspub.net/challenges-in-scaling-management-of-the-invasive-tree-prosopis-juliflora-a-review/>
 23. Pazoki, M., Seyed Akhlaghi, S. J., & Hosseini, S. A. (2025). Formulation of a Paradigmatic Framework for the Sustainable Utilization of Water Resources in Desert Regions Based on Indigenous Knowledge of Local Communities. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 32(4), 427-442. URL: https://ijrdr.areeo.ac.ir/article_134832.html?lang=en [In Persian]
 24. Raghorste, A. H., Kuchanwar, D. O., Sawant, A. P., & Kausadikar, H. P. (2019). Effect of potassium and sulphur on yield and nutrient uptake of pigeonpea. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(2), 1989-1991. URL: www.phytojournal.com/archives/2019/vol8issue2/PartAG/8-2-355-920.pdf.

25. Rezashateri, M., Khajeddin, S.J., Abedi-Koupai, J., Majidi, M.M., & Matinkhah, S. H. (2017). Growth characteristics of *Artemisia sieberi* influenced by super absorbent polymers in texturally different soils under water stress conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, [doi:10.1080/03650340.2016.1256473](https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1256473).
26. Sharifi, F., Haghighi, S., Kargar, H., Kazemi, R., Davood, H., Chatrnor, M., & Shoaee, Z. (2025). Assessing the impact of a new method of rainwater use on vegetation restoration, land reclamation, and dust control. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 13(1), 103-120. [doi: jircsa.ir/article-1-580-fa.html](https://doi.org/jircsa.ir/article-1-580-fa.html) [In Persian]
27. Sintayehu, D. W., Dalle, G., & Bobasa, A. F. (2020). Impacts of climate change on current and future invasion of *Prosopis juliflora* in Ethiopia: environmental and socio-economic implications. *Heliyon*, 6, 1-7. doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04596.
28. Toib, A. A., Muthuri, C. W., Gebrekirstos, A., Hadgu, K., Njoroge, J., Sinclair, F., & Fetene, M. (2021). To prune or not to prune *Faidherbia albida*: competing needs for water, wheat, and tree products in semi-arid Ethiopia. *Agroforest Syst*, Published online, doi.org/10.1007/s10457-021-00675-x.
29. Watson, G. W. (2002). SOIL REPLACEMENT: LONG-TERM RESULTS. *Journal of Arboriculture & Urban Forestry*, 28(5): 229-230. doi.org/10.48044/jauf.2002.034
30. Zar, A., Hakimzadeh, H., & Karimian, A. (2021). Determining Successful Methods of *Haloxylon Aphyllum* Iljin Planting in the Desert and its Effect on Improving Vegetation and Soil Characteristics (Case Study: Dosangi, Meybod). *Desert Management*, 9(1), 67-80. doi.org/10.22034/jdmal.2021.244521 [In Persian]
31. Zarasvandi, A., Carranza, E. J. M., Moore, F., & Rastmanesh, F. (2011). Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). *Journal of Geochemical Exploration*, 111(3), 138-151. [doi: 10.1016/J.GEXPLO.2011.04.004](https://doi.org/10.1016/J.GEXPLO.2011.04.004)
32. Zare Chahoki, M.A. (2010). *Data analysis in natural resources research with SPSS software*. Tehran, Jihad-Daneshgahi Publisher. [In Persian]
33. Zhao, W., Yu, P., Ma, X., Sheng, J., & Zhou, C. (2017). Numerical Simulation of Soil Evaporation with Sand Mulching and Inclusion. *Water*, 9(4), 294. doi.org/10.3390/w9040294.

